

SVEUČILIŠTE U SPLITU
KINEZIOLOŠKI FAKULTET

IVANA ČERKEZ, prof.

UTJECAJ KINEMATIČKIH PARAMETARA NA USPJEŠNOST
BACANJA KUGLE VRHUNSKIH EUROPSKIH SENIORA I
MLAĐIH SENIORA S ASPEKTA LINEARNE I ROTACIJSKE
TEHNIKE

DOKTORSKA DISERTACIJA

MENTOR: doc.dr.sc. FRANE ŽUVELA

KOMENTOR: prof.dr.sc. MILAN ČOH

SPLIT, SVIBANJ 2014.

Ova doktorska disertacija izrađena je u suradnji Fakulteta za sport Univerziteta u Ljubljani i Fakulteta prirodoslovno-matematičkih i odgojnih znanost Sveučilišta u Mostaru pod vodstvom profesora dr.sc. Milana Čoha i Instituta za biomehaničku analizu Fakulteta za sport Univerziteta u Ljubljani.

UTJECAJ KINEMATIČKIH PARAMETARA NA USPIJEŠNOST BACANJA KUGLE VRHUNSKIH EUROPSKIH SENIORA I MLAĐIH SENIORA S ASPEKTA LINEARNE I ROTACIJSKE TEHNIKE

SAŽETAK

Osnovni cilj ovog rada je utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku učinkovitost u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih europskih bacača. Sukladno postavljenom osnovnom cilju definirani su sljedeći parcijalni ciljevi: (1) utvrditi razlike u kinematičkim parametrima i antropometrijskim mjerama linearne i rotacijske tehnike bacanja (2) utvrditi razlike u kinematičkim parametrima i antropometrijskim mjerama između seniora i mlađih seniora (3) primijeniti regresijsko modeliranje uspjeha kod vrhunskih bacača kugle.

Istraživanje je provedeno na uzorku 24 bacača, od čega je 12 bilo seniora ($28,83 \pm 3,07$ godina) i 12 mlađih seniora ($20,66 \pm 1,30$ godina). Podaci su prikupljeni na *Europskom zimskom bacačkom kupu* u Baru, Crna Gora 2012. godine. Kinematička analiza hitaca provedena je programskim paketom APAS. Analizirane varijable uključivale su: rezultat, tjelesnu visinu, tjelesnu masu, brzinu kugle u trenutku izbačaja, visinu kugle u trenutku izbačaja, kut u trenutku izbačaja, prosječnu brzinu kugle u fazi izbačaja, brzinu kugle na početku izbačaja, prosječnu brzinu centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, brzinu centra težišta tijela u trenutku izbačaja, prosječnu brzinu kugle u najnižoj točki, brzinu kugle u najnižoj točki, visinu kugle na početku izbačaja, prosječnu brzinu kugle u fazi klizanja, prosječnu brzinu kugle u okretu. Razlike između grupa utvrđene su diskriminacijskom analizom i t-testom za nezavisne uzorke. Povezanost između prediktorskih varijabli (morfološke mjere i kinematički parametri) i kriterija (najbolji pojedinačni rezultat) utvrđen je regresijskom analizom (*forwardstepwise* model).

U ukupnom uzorku ispitanika objašnjeno je 97 % varijance kriterija. Varijable koje najviše doprinose rezultatu bile su početna brzina kugle u izbačaju i kut izbačaja (pozitivan utjecaj). Kod bacača koji bacaju linearnom tehnikom prediktorski skup opisuje 98 % varijance kriterija. Značajni prediktori bili su prosječna brzina centra težišta tijela u izbačaju, visina kugle u početku izbačaja, tjelesna visina, prosječna brzina kugle u fazi klizanja, brzina kugle u najnižoj točki i tjelesna masa (sve pozitivan utjecaj). Kod rotacijske tehnike objašnjeno je 97% varijance, a značajni prediktori su prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, kut izbačaja, brzina kugle u trenutku izbačaja (sve pozitivan utjecaj), i tjelesna visina (negativan utjecaj). Seniori postižu optimalniji kut izbačaja i brzinu kugle u trenutku izbačaja. Mlađi seniori imaju veću brzinu centra težišta tijela, ali to ne vodi boljoj izvedbi. U ovoj je disertaciji po prvi put, na većem uzorku vrhunskih bacača, primijenjeno regresijsko modeliranje, a rezultati ukazuju na visoku prediktivnu vrijednost kinematičkih parametara. Istraživanje je doprinijelo boljem

razumijevanju linearne i rotacijske tehnike, te djelomično riješilo i istaknulo određene probleme pojedine tehnike.

Ključne riječi: bacanje kugle, vrhunski bacači kugle, kinematički parametri, linearna i rotacijska tehnika

The influence of some kinematic parameters on shot-putting with glide and spin techniques among European senior and young senior top level shot putters.

The primary aim of this study was to determine the influence of some kinematic and anthropometric predictors on shot put results among top level European shot putters. In accordance with the primary aim the partial objectives were defined and they are as follows:

(1) Identify differences in kinematic parameters and anthropometric measures between the glide and spin throwing techniques (2) Identify differences in kinematic parameters and anthropometric measures between the senior and young senior shot putters (3) apply regression modelling of achievement (shot put result) of top level shot putters.

The study was conducted among 24 shot putters of which 12 were seniors (age, $28,83 \pm 3,07$ years) and 12 were young senior (age, $20,66 \pm 1,30$ years). Data were collected during the European winter throwing cup in Bar, Montenegro in 2012. Kinematic analysis of shot putts was done by means of APAS software package. The sampled variables were: shot put result, body height, body weight, the speed of the shot in moment of delivery, the height of shot at the moment of delivery, the angle at the moment of delivery, average velocity of the shot in the moment of delivery, the velocity of shot in the moment of delivery, the average velocity of the centre of gravity of body in the moment of delivery, the velocity of the centre of gravity of body in the moment of delivery, the average velocity of the shot measured the lowest point, the velocity of shot measured the lowest point, the height of shot at the beginning of delivery, the average speed of the shot in the slip phase, the average velocity of shot in the turn phase. To determine differences between groups, Discriminant analysis and t-test for independent samples were used. Regression analysis (*forward stepwise* model) was applied to define influence of predictors (anthropometrics and kinematics) on criteria (best shot putt result for each athletes). Among total sample of respondents applied predictors set explained 97% variance of criteria with the highest partial influences of two predictors, initial velocity in the moment of delivery and angle of delivery.

Keywords; throwing balls, kinematic parameters, glide and spin technique

Tablica sadržaja

1. UVOD	10
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	14
3. PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....	21
4. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	23
5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	24
6. METODE RADA	25
6.1. Uzorak ispitanika	25
6.2. Uzorak varijabli	26
6.3. Prikupljanje video zapisa za kinematičku analizu	30
6.4. Kontrola uvjeta mjerenja.....	31
6.5. Metode obrade podataka	32
7. REZULTATI.....	33
7.1. Deskriptivni statistički parametri	33
7.2. Razlike u kinematičkim parametrima kod vrhunskih atletičara bacača kugle	39
7.3. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle	45
7.3.1. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod ukupnog uzorka ispitanika	45
7.3.2. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – linearna tehnika.....	46
7.3.3. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – rotacijska tehnika.....	47
7.3.4. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – seniori... 48	
7.3.5. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – mlađi seniori	49
7.4. Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara.....	50
8. RASPRAVA.....	53
8.1. Analiza deskriptivnih statističkih parametara	53
8.2. Razlike između linearne i rotacijske tehnike u kinematičkim parametrima	57
8.3. Utjecaj kinamatičkih i antropometrijskih pokazatelja na rezultatsku uspješnost bacanju kugle (ukupan uzorak ispitanika)	59

8.4. Razlike u kinematičkim parametrima na duljinu hitca između dva subuzorka bacača kugle (univarijatne i multivarijatne).....	61
8.4.1. Specifičnost utjecaja kinematičkih i antropometrijskih pokazatelja na duljinu hitca kod bacača kugle mlađih seniora i seniora.....	62
8.5. Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara.....	64
9. ZAKLJUČAK	66
9.1. Znanstveni doprinos	68
10. LITERATURA	70
11. PRILOG	74

KAZALO SADRŽAJA

1. UVOD	10
2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA	14
3. PROBLEM ISTRAŽIVANJA.....	21
4. CILJ ISTRAŽIVANJA.....	23
5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA.....	24
6. METODE RADA	25
6.1. Uzorak ispitanika	25
6.2. Uzorak varijabli.....	26
6.3. Prikupljanje video zapisa za kinematičku analizu.....	30
6.4. Kontrola uvjeta mjerenja.....	31
6.5. Metode obrade podataka	32
7. REZULTATI.....	33
7.1. Deskriptivni statistički parametri	33
7.2. Razlike u kinematičkim parametrima kod vrhunskih atletičara bacača kugle	39
7.3. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle	45
7.4. Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara.....	50
8. RASPRAVA.....	53
8.1. Analiza deskriptivnih statističkih parametra	53
8.2. Razlike između linearne i rotacijske tehnike u kinematičkim parametrima	57
8.3. Utjecaj kinematičkih i antropometrijskih pokazatelja na rezultatsku uspješnost bacanju kugle (ukupan uzorak ispitanika)	59
8.4. Razlike u kinematičkim parametrima na duljinu hitca između dva subuzorka bacača kugle (univarijatne i multivarijatne).....	61
8.5. Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara.....	64
9. ZAKLJUČAK	66
9.1. Znanstveni doprinos	68
10. LITERATURA	70
11. PRILOG	74

1. UVOD

Atletika je sportska grana s najizraženijom filogenetskom komponentom, u kojoj su se izvorni oblici kretanja, kao i fundamentalna, generička motorička znanja (Burton i Miler, 1998) održali od postanka čovjeka do danas, u početku kao utilitarni oblici opstanka (vježbanje trčanja, bacanja, gađanja koje je doprinijelo uspješnoj borbi s prirodom i superiornijim protivnikom), a potom kao kraljica sportova čiji natjecateljski segment privlači milijune gledatelja diljem svijeta (Katić i sur., 2005). Bacanje kugle je jedna od najstarijih atletskih disciplina kroz svoje elementarne oblike gibanja ima svoju široku primjenu u kineziologiji, ali i u životu uopće. Prema strukturnoj složenosti bacanja kugle spada u acikličke aktivnosti u čijoj su osnovi kretnje koje se sastoje od više faza. Po karakteru motoričke aktivnosti spada u grupu prirodnih gibanja s korištenjem pomagala, kojeg se uz poštivanje biomehaničkih zakonitosti nastoji premjestiti: baciti u prostor što je moguće dalje. Unatoč tomu što bacanja općenito spadaju u prirodne oblike kretanja, bacanje kugle je specifično zahtjevna disciplina. Za postizanje vrhunskih rezultata ova disciplina zahtjeva spektar specifičnih motoričkih sposobnosti: izraženu logitudinalnu, transversalnu i cirkularnu dimenzionalnost skeleta te vrhunsku tehničku izvedbu. Ocjenjivanje uspješnosti bacanja kugle izuzetno je jednostavno jer je dužina hitca jedini rezultat koji se boduje. Rezultat u bacanju kugle suma je horizontalne udaljenosti ruba kruga do točke izbačaja i horizontalne duljine leta kugle (Luhtanen i sur., 1997; Hubbard, 2001; Young, 2003).

Bacanje kugle spada u grupu acikličkih tehničkih atletskih disciplina. Tijekom stoljetne povijesti bacanja kugle razvijala se i sama tehnika bacanja. Bacači i treneri kroz povijest uvidjevši nedostatke pojedine tehnike povećavaju duljinu akceleracijskog puta sprave. Bacači kugle povećavajući svoju brzinu kretanja utjecali su na razvoj tehnike bacanja kugle. Kroz povijest možemo zapaziti četiri načina bacanja koje su primjenjivali različite generacije bacača kugle (Zatsiorsky, 2000):

- bacanje kugle s mjesta
- bacanje kugle s kliznim korakom koji počinje iz bočne pozicije
- bacanje kugle kliznim korakom koji počinje iz leđne pozicije
- bacanje kugle rotacijskom tehnikom.

Analiza najboljih ostvarenih rezultata svih vremena pokazuje da su podjednako ostvareni linearnom i rotacijskom tehnikom bacanja kugle (Milanović, 2004). Linearnu tehniku bacanja povezujemo s 1950-om godinom kada je američki bacač P. O'Brien pridonio razvoju tehnike okrenuvši se leđima u smjeru bacanja. Ovaj početni položaj omogućio je veće uvijanje tijela, pa tako i povećavanje rotacije tijekom izbacivanja kugle (Lanka, 2000). U posljednje vrijeme uočava se dominacija bacača koji bacaju rotacionom tehnikom. Rotacijska tehnika bacanja kugle afirmirana je 1970-ih, te je pridonijela prvom čovjekovom hitcu od 22.00 m i svjetskom rekordu A. Barysnikova. Glavna ideja bacanja ovom tehnikom posuđena je iz bacanja diska (Lanka, 2000). Rotacijsku tehniku u

bacanja kugle karakteriziraju složeni pokreti koji se izvode velikom brzinom u ograničenom prostoru (Čoh, 2005). Bacanje kugle, pa tako i rotacijsku tehniku, karakterizira sekvencijalno djelovanje dijelova tijela što omogućava razvoj maksimalne brzine u najdistalnijim segmentima sistema prilikom izbacivanja objekta (Atwater, 1979; Menzel, 1987). Smatra se kako rotacijska tehnika bacanja bacaču pruža bolje mogućnosti korištenja vlastitih sposobnosti, međutim i dalje vrhunski mladi bacači bacaju linearnom tehnikom. Podjele tehnike bacanja kugle na faze i podfaze s jedne strane omogućava istraživačima dublju biomehaničku analizu, a s druge otežava međusobnu usporedbu rezultata dobivenih kod različitih autora. Linearnu tehniku bacanja Vasiliev i Raider (Zatsiorsky i sur., 1981) dijele u četiri faze tehnike: početnu fazu, klizni korak, izbačaj i održavanje ravnoteže. Prisutne su i druge podjele tehnike, pa tako Simony ističe čak jedanaest faza tehnike bacanja kugle (Zatsiorsky i sur., 1981). Analizom prezentiranih radova može se uvidjeti kako razlike u broju faza uglavnom nastaju zbog neusklađenosti znanstvenog nazivlja i određivanju trenutka kad koja faza počinje odnosno završava. Tako Marhold (1970) ističe kako faza izbačaj kugle počinje kad desno stopalo dođe u kontakt s podlogom nakon kliznog koraka, dok Basanov (i suradnici) smatraju kako ista faza započinje s kontaktom lijevog stopala (Zatsiorsky i sur., 1981). Luhtanen i suradnici (1997) zbog jednostavnije kinematičke analize dijele rotacijsku tehniku bacanja kugle na pet faza, i to prvu dvopotpornu, prvu jednopotpornu, fazu leta, drugu jednopotpornu i drugu dvopotpornu fazu (u poglavlju dosadašnjih istraživanja detaljnije su opisane faze rotacijske tehnike).

Rezultat u bacanju kugle suma je horizontalne udaljenosti ruba kruga do točke izbačaja i horizontalne duljine leta kugle (Luhtanen i sur., 1997; Hubbard, 2001; Young, 2003). Dužina bacanja određena je dužinom puta djelovanja sile na kuglu, na koju utječu: brzina izbačaja, kut izbačaja i visina izbačaja (Čoh, 2005). Optimalne vrijednosti ovih varijabli u relaciji s individualnim kvalitetama bacača kao što su jakost i brzina, kao i njegovom tehnikom mogu ostvariti vrhunske rezultate (Lanka, 2000.). Analizama je utvrđeno kako je kod vrhunskih bacača visina izbačaja od 2,2 do 2,3 m, a kut 31° i 36° (Young, 2005) odnosno 37° i 41° (Lanka, 2000). Najveća korelacija je između dužine hitca i brzine izbačaja, to je ujedno i najvažniji faktor u bacanju kugle (Linthorne, 2001). Brzina je ujedno i i jedini faktor koji možemo značajnije promijeniti trenažnim procesom te u konačnici utjecati na rezultat. Horizontalna duljina hitca u bacanju kugle proporcionalna je početnoj brzini na kvadrat. Povećanjem početne brzine s faktorom dva, utjecat će na povećanje rezultata (horizontalne duljine leta) faktorom četiri (Lanka, 2000). Povećanjem visine izbačaja utjecat ćemo na dužinu hitca (Lanka, 2000). Schaa i suradnici 2010. analizirali su kinematičke parametre bacača kugle finalista Svjetskog prvenstva (Berlin 2009.) te utvrdili kako kod vrhunskih bacača finalista (raspon rezultata od 20.50 m - 22.03 m), ostali faktori (poput visine izbačaja...) postaju važniji od same brzine izbačaja. Međutim visina izbačaja je relativno konstantna za pojedinog bacača (Lanka 2000), treningom ne možemo značajnije utjecati na visinu izbačaja, te je isključivo problem selekcije, odnosno longitudinalnih mjera bacača.

Pregledom dosadašnjih istraživanja koja se bave analizom kinematičkih parametara uočavamo veliki broj radova na temu utvrđivanja pojedinih kinematičkih parametara tehnike bacanja i njihovom usporedbom s već postojećim parametrima. Znatno je manji broj istraživanja koja se bave analizom utjecaja kinematičkih parametara na rezultat kod rotacione i linearne tehnike, te proučavanjem efikasnosti pojedine tehnike kroz kinematičke parametre na rezultate u bacanju kugle kod vrhunskih bacača.

Relativno veliki broj radova temeljio se na utvrđivanju nekih kinematičkih pokazatelja tehnike bacanja kugle. Tako se vrlo često analizira akceleracijski put kugle koji, prema Zatsiorsky i sur. (1981), predstavlja put na kojem se kugla giba prije nego što napusti ruku bacača. „Dinamika brzine“ je termin koji se koristi za analizu promjena u brzini kugle na akceleracijskom putu (Zatsiorsky i sur., 1981; Lanka, 2000). Ove dvije kinematičke karakteristike gibanja, trajektoriju i dinamiku brzine, nemoguće je izračunati odvojeno. Schpenke (1974) predstavlja da bi akceleracijski put kugle trebao biti ravno koso prema gore. Međutim, Grigalka (1974) tvrdi da ovakav akceleracijski put potpuno ne iskorištava snagu bacača. Ističe da ravna linija ne dopušta tzv. „efekt punjenja“ mišićnog sustava. Navodi da nakon kliznog koraka dolazi do spuštanja kugle i težišta, što omogućava „punjenje“, odnosno povećanje opterećenja na donje ekstremitete u izbačaju. Početna brzina kugle (odnosno uspješnost, rezultat) često se objašnjava kroz prizmu povezanosti s prostorom kapaciteta snage donjih ekstremiteta (Zatsiorsky i sur., 1981), pa treneri ponekad ističu da se kugla „baca nogama“ (Milanović, 2010). Tijekom faze klizanja i finalne faze vektori brzine imaju različite smjerove. Vrhunski bacači danas mogu baciti kuglu „iz mjesta“ 19 – 20 m, što korespondira s vektorom brzine vrijednosti od oko $13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Brzina kugle na kraju klizećeg koraka je kod vrhunskih bacača oko $2,0 - 2,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Kad bi bacač mogao izvesti bacanje tako da se ove dvije brzine zbroje aritmetički (tako da se smjerovi brzina podudaraju), početna brzina kugle bi bila oko $15,0 - 15,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Što bi značilo dužinu hitca od oko 25-26 m (Zatsiorsky i sur., 1981).

Nedostatak kolinearnosti vektora brzine kugle tijekom faze klizanja i izbačaja utječe na značajan gubitak inicijalne i finalne brzine. Problemi povezani s akceleracijom kugle, koji su prisutni nakon dolaska do „centralnog položaja“, mogu biti riješeni u rotacijskoj tehnici. Tehnika rješava problem male kolinearnosti smjera inicijalne i finalne brzine, teorijski znatno produžava put djelovanja na spravu (Bosen, 1985). U početku okreta i premještanja tjelesne težine s lijeve na desnu nogu brzina kugle može doseći vrijednost od $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Kerssenbrock, 1974). Ova vrijednost je veća nego u kliznoj tehnici bacanja kugle. U ranijim istraživanjima fokus je usmjeren na akceleraciju u fazi izbačaja i fazi leta. Luhthnen i sur. (1997) ukazali su na potrebu postizanja povećanja brzine tijekom faze leta kod rotacijske tehnike. Autori Zatsiorsky i sur., (1981); Lanka, (2000) navode kako je dinamika brzine kod „klizne tehnike“ slična dinamici brzine kod rotacijske tehnike bacanja. Bayun i suradnici (2008) u istraživanju koje su proveli na *Svjetskom prvenstvu* u atletici 2007. godine, navode

kako pad brzine bacanja tokom faze leta i tranzicijske faze je značajniji kod rotacijske nego kod linearne tehnike. Gubitak brzine kod rotacijske tehnike možemo objasniti uzmemo li u obzir činjenicu da su bacači veliki i teški, te je u fazi leta izuzetno teško održavati ravnotežu prije ulaska u jednopotpornu fazu te finalnu fazu: fazu izbačaja. Autori navode da je akceleracija sistema bacanja ključni faktor koji osigurava izvor energije potreban za izbačaj. Može se pretpostaviti kako je akceleracija sistema cilj priprema za izbačaj, jer se ubrzanjem cijelog tijela osigurava povoljna pozicija prije nego što se ubrza sam izbačaj (Bayun i sur., 2008).

2. DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

Pregledom dosadašnjih istraživanja uočavamo veliki broj radova koji proučavaju tehniku bacanja kugle, utjecaj motoričkih sposobnosti i morfoloških karakteristika na rezultat, te utjecaj biomehaničkih parametara. Većina pregledanih i odabranih radova proučava problematiku kojom se bavi i ova doktorska disertacija – kinematikom bacanja kugle. Navedena istraživanja, opisana u ovom poglavlju, izdvojena su iz velikog broja radova koji su istraživali istu ili sličnu problematiku utvrđivanja vrijednosti pojedinih kinematičkih parametara tehnike bacanja kugle: pomaka, ubrzanja, brzine, položaja i temporalnih karakteristika gibanja.

Istraživanje koje je proveo Lanka (1978) koristeći goniometar za mjerenje promjene kutova u zglobovima 50 bacača (različite razine u tehničkoj kvaliteti) nagovješćuju dva različita modela interakcije segmenata tijela tijekom finalne akceleracije kugle:

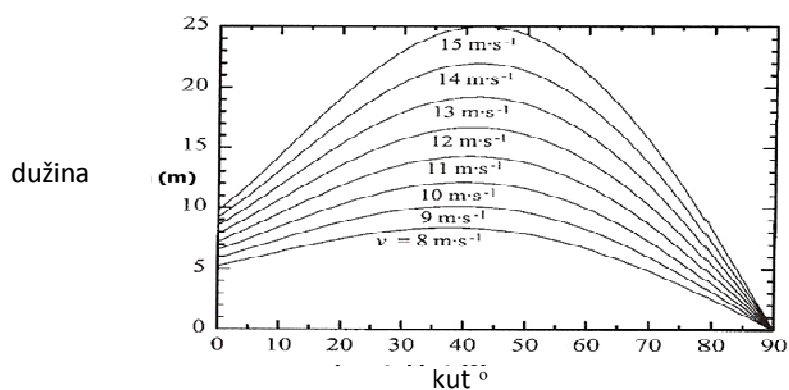
1. nakon početnog opružanja desnog koljena počinje se ekstenzirati i desni kuk, nakon čega se opruži i lijevo koljeno i lakat ruke koja baca kuglu
2. ekstenzija lijevog koljena prethodi onoj desnog kuka, dok slijed aktiviranja ostalih segmenata ostaje nepromijenjen.

Luhtanen i suradnici (1997) kako bi olakšali identifikaciju relevantnih kinematičkih parametara rotacijske tehnike dva vrhunska bacača, u pokušajima bacanja preko 20 m, tehniku bacanja dijele na pet faza. Tako izdvajaju prvu dvopotpornu fazu koja traje do momenta kad bacač dešnjak prvi put odvaja desnu nogu od podloge kruga za bacanje. Prva jednopotporna faza koja traje od momenta kad bacač dešnjak prvi put odvaja desnu nogu od podloge kruga za bacanje do momenta kad bacač dešnjak prvi put odvaja lijevu nogu od podloge. Faza leta se nastavlja od momenta kad lijevo stopalo napušta podlogu do momenta kada desno stopalo ponovno dolazi u kontakt s podlogom. Drugi dvopotporni položaj traje od momenta kraja drugog jednopotpornog položaja do momenta izbačaja kugle.

Antekolović i suradnici (Antekolović i sur. 1997) provode kinematičku analizu tehnike bacanja kugle kod 16-godišnjeg hrvatskog kadetskog rekordera. Analiza je provedena na njegovom hicu od 16.53 m. Cilj ovog rada je bio usporediti kinematičke parametre bacanja kugle hrvatskog bacača i vrhunskih bacača kugle. Dobiveni rezultati ukazuju na nekorektnost pri izvođenju tehnike bacanja kugle hrvatskog bacača, koja se očituje u prevelikom kutu u koljenima i kukovima u početnoj poziciji, u predugom trajanju prve jednopotporne faze, zakašnjelom postavljanju lijeve noge u fazi izbačaja što je ukupno rezultiralo sporijim izbačajem, manjim kutom i visinom izbačaja. Autori sugeriraju

ispravljanje navedenih nedostataka tehnike uz odgovarajuću kondicijsku pripremu (eksplozivna snaga ekstenzora koljena, rotatora trupa i ekstenzora lakta).

Linthorne (2001) provodi istraživanje na pet bacača kugle koji u maksimalnim pokušajima bacaju kuglu pod različitim kutom, s različitom početnom brzinom, s različitom visinom izbačaja te analizira međusobne relacije osnovnih parametara izbačaja s rezultatom u bacanju. Cilj istraživanja bio je utvrditi točnost metoda kojima se izračunava optimalni kut izbačaja kugle. Zaključuje kako pri konstantnoj visini izbačaja za pojedinog bacača (u istraživanju je to bilo 210 cm) optimalni kut elevacije raste s porastom početne brzine projektila. Optimalni kut izbačaja s obzirom na početnu brzinu kugle može se vidjeti na grafičkom prikazu 1.



Grafički prikaz 1. Optimalni kut izbačaja s obzirom na početnu brzinu kugle (Linthorne, 2001).

Autor je također utvrdio da početna brzina opada s povećanjem kuta izbačaja, te da svaki bacač ima kut izbačaja koji odabire ovisno o mogućnosti da kuglu maksimalno ubrza. Optimalni model parametara izbačaja kugle trebao bi biti izračunat za svakog bacača posebno ovisno o njegovim antropometrijskim karakteristikama i snazi.

Gideon Ariel i suradnici (Ariel, G., Penny, A., i sur. 2004) provode istraživanje na *Olimpijskim igrama* u Ateni 2004. godine s ciljem analiziranja parametara izbačaja kod osvajača medalja. Vremenske i kinematičke varijable za najbolja tri rezultata izračunate su iz video zapisa upotrebom programskog paketa APAS. U tablici 2. prikazani su parametri izbačaja najbolja tri postignuta rezultata na *Olimpijskim igrama*, Atena 2004. Rezultati koji su dobiveni u ovom istraživanju odgovaraju vrijednostima dobivenim u ranijim istraživanjima.

Tablica 1. Parametri izbačaja kugle najbolja tri bacača kugle na Olimpijskim igrama 2004. godine

	Rezultat (m)	visina izbačaja (m)	brzina izbačaja (m/s)	kut izbačaja
Yuriy Belonog	21.16	vlj.55	13.85	33
Adam Nelson	21.16	vlj.33	13.95	33
Joachim Olsen	21.srp	vlj.31	13.60	41

Cilj studije koju su proveli Čoh i sur. (Čoh, M., Štuhec, S., Supe, M. 2008) bio je utvrditi modalitete rotacijske tehnike bacanja kugle kod dva vrhunski bacača s različitim antropometrijskim obilježjima. Biomehanička analiza video zapisa provedena je pomoću programskog paketa APAS. Na osnovu komparativne biomehaničke analize bacanje kugle kod dva bacača različitih antropometrijskih karakteristika unatoč malobrojnom uzorku, autori iznose sljedeće zaključke:

1. Antropometrijske karakteristike su važne i utječu na tehniku i rezultat bacanja kugle.
2. Velike razlike vidljive su kod trajektorija kretanja centra gravitacije tijela i kugle u svim pravcima, a one su direktno vezane s antropometrijskim karakteristikama, naročito tjelesnom visinom i masom.
3. Teži atletičar s većom količinom abdominalnog masnog tkiva ima manju mogućnost korištenja važnog kinetičkog lanca relativnog okretanja ramena u odnosu na osovinu kukova.

Osim toga razvoj kinetičke energije kugle je različit. Kod većeg i težeg bacača konačna akceleracija traje duže, nego kod nižeg i lakšeg bacača. Maksimum snage, odnosno transformacija kinetičke energije kugle također je veća kod težeg i višeg bacača, što znači kako on iskoristi više energije u vremenskoj jedinici. Rezultat je veća konačna kinetička energija kugle. Naravno kod sličnog kuta izbacivanja, koji je u okviru naše točnosti mjerenja jednak, dužina bacanja kugle je duža. Rezultati pokazuju malu razliku u maksimumu sile na kuglu, što možemo pripisati naročito numeričkim metodama izračunavanja i neprikladnosti kinematike za ocjenjivanje parametara drugog reda. Slično je i kod parametara kutne brzine lakta zbog relativno niske frekvencije skupljanja podataka. To pokazuje veću brzinu kod nižeg atletičara, što se može objasniti njegovom kraćom podlakticom i nadlakticom.

Cilj istraživanja Bayun K. Ohgama i sur. (Bayun K. Ohgama i sur 2008) bio je analiza biomehaničkih parametara tehnike bacanja kugle sudionika finala *Svjetskog prvenstva* u atletici održanog u Osaki 2007. godine. Analizirana je tehnika deset najboljih atletičara, te usporedba tehnike osvajača medalja. Autori su promatrali tehničke razlike između linearne i rotacijske tehnike, te razlike između rotacijskih tehnika. Rezultati bacanja imaju značajnu korelaciju s brzinom izbačaja. Neke

oscilacije mogu biti povezane i s drugim faktorima: kutom i pozicijom faze izbačaja. U ranijim istraživanjima fokus je usmjeren na akceleraciju u fazi izbačaja i fazi leta. Luhthnen i sur. (1997.god.) ukazali su na potrebu postizanja povećanja brzine tijekom faze leta kod rotacijske tehnike. Dinamika brzine kod „klizne tehnike“ vrlo je slična dinamici brzine kod rotacijske tehnike bacanja (Zatsiorsky i sur., 1981; Lanka, 2000). Stoga i u ovom radu autori navode kako pad brzine bacanja tokom faze leta i tranzicijske faze je značajniji kod rotacijske tehnike nego kod linearne tehnike. Autori navode da je akceleracija sistema bacanja ključni faktor koji osigurava izvor energije potreban za izbačaj. Može se pretpostaviti da je cilj priprema za izbačaj, tj. da se cijelo tijelo ubrzava da osigura povoljnu poziciju tijela prije nego što se ubrza sam izbačaj.

Varijacije u brzini ovise o snazi i brzini bacača, dinamika brzine kugle prije izbačaja ima valovit karakter (Zatsiorsky i sur., 1981). Kod vrhunskih bacača kugle brzina raste postupnije nego kod lošijih bacača. Također se njihova tehnika razlikuje po velikoj brzini na početku finalne akceleracije (Susanka i Stepanek, 1988).

Schaa i tim istraživača (Schaa, 2010) provode istraživanje na *Svjetskom atletskom prvenstvu* u Berlinu (2009. godine) s ciljem utvrđivanja najnovijih podataka i uvida u tehničko stanje trenutno najboljih bacača kugle u svijetu. Uzorak ispitanika je osam natjecateljica ženskog finala i najboljih osam iz muškog finala kugle. Video zapisi snimljeni su s kamerama koje su postavljene u prostor za sjedenje na stadionu. Analizirani su parametri izbačaja, prostorne i vremenske značajke kretanja i drugi podaci dobiveni trodimenzionalnom analizom. Utvrđeno je da se kod žena razlike u udaljenosti hitaca mogu gotovo potpuno objasniti razlikama u izbačajnoj brzini. U tablici 1 prikazani su parametri izbačaja muškog finala, primjećujemo da ne postoje velike razlike između vrijednosti brzine izbačaja finalista, a posebno između prvih pet natjecatelja. Stoga, razlike u rezultatima mogu se povezati s drugim parametrima izbačaja kako što su kut i visina izbačaja. Autori navode da kod vrhunskih bacača ovi faktori postaju važniji od same brzine izbačaja. Ovu tvrdnju potvrđuju kinematički pokazatelji prvoplasiranog Cantwela koji je imao istu brzinu izbačaja kao i trećeplasirani Bartels te četvrtoplasirani Hoffa, dok je njegova brzina izbačaja čak bila manja nego kod petoplasiranog Nelsona. To se može objasniti njegovim većim kutom i većom visinom izbačaja, što je neobično za bacača koji baca rotacijskom tehnikom.

Tablica 2. Parametri izbačaja najboljih osam bacača kugle na Svjetskom prvenstvu 2009. godine (rezultat, brzina izbačaja, kut izbačaja, visina izbačaja)

	Rezultat	brzina [m/s]	kut [°]	visina [m]
Cantwell	22.03	14.0	37.8	2.29
Majewski	21.91	13.8	39.3	2.43
Bartels	21.37	14.0	33.6	2.12
Hoffa	21.28	14.0	34.4	2.06
Nelson	21.11	14.1	32.9	2.05
Lyzhin	20.98	13.6	39.2	2.22
Mikhnevich	20.74	13.4	37.7	2.43
Vodovnik	20.50	13.7	33.1	2.25

Osnovni cilj istraživanja Harasina i suradnika (Harasin D., Milanović D., Milanović I. 2008) bio je usmjeren na utvrđivanje eventualne superiornosti jednog od dva različita nastojanja i ponašanja bacača tijekom rotacijske tehnike bacanja kugle. Utvrđivanje ove razlike u dinamici gibanja sprave tijekom dinamičkog stereotipa bacanja kugle između boljih i lošijih bacača proširilo je spoznaju o dinamičkom stereotipu bacanja kugle, pa tako otvorilo nove mogućnosti za povećanje početne brzine kugle. Uzorak je prikupljen na službenim međunarodnim natjecanjima. Prvi poduzorak bacanja kvalitetnih bacača (duljina hica je bila veća od 16 m, a manja od 17,25 m) sastojao se od 10 ispravnih hitaca (skupina 1), a i drugi poduzorak bacanja vrhunskih bacača (duljina hica je bila veća od 19 m, a manja od 20,44 m) sastojao se također od 10 ispravnih hitaca (skupina 2). Prikupljeni uzorak izvedenih bacanja digitaliziran je korištenjem APAS-a. Statistički značajna razlika između vrijednosti vršne brzine kugle u okretu kod boljih i lošijih bacača kugle u rotacijskoj tehnici. Bacanje kugle dokaz je da se u finalnu fazu bacanja kugle ne ulazi s velikom brzinom kugle tako da se kugla nastoji ubrzati na početku okreta. Ovo istraživanje pomoglo je definiranju racionalnijeg obrasca kretanja bacača u fazi inicijalne akceleracije bacanja kugle i na taj način omogućilo trenerima da znaju na koji način treba izvoditi okret u rotacijskoj tehnici bacanja kugle. Vodeći računa o velikom broju faktora koji utječu na učinkovitost tehnike, temeljem ovog istraživanja ne možemo biti sigurni utječe li na ovakvu dinamiku gibanja kugle brzina gibanja sustava. Razmišljanja o ovakvoj tendenciji rezultata potiču na pitanje koliki je utjecaj pojedinih varijabli dinamike brzine sustava i sprave na efikasnost tehnike bacanja kugle. Tako su rezultati ovog istraživanja, otvorivši niz novih pitanja na koja treba odgovoriti, otvorili i nove hipoteze pa su svakako osnova za naredna istraživanja koja treba provesti.

Harasin i suradnici (Harasin D., Milanović D., Milanović I. 2008) provode istraživanje s ciljem odgovara na pitanje kako kutni pomaci donjih ekstremiteta u drugoj dvopotpornoj fazi bacanja utječu na učinkovitost tehnike. Uzorak entiteta u ovom istraživanju čine pokušaji vrhunskih bacača kugle ostvareni na međunarodnim natjecanjima. Prvi poduzorak čine lošiji bacači (preko 16 m – manje od 17 m), drugi poduzorak bolji bacači (preko 19 m – manje 20,44 m). T-testom za nezavisne uzorke utvrđeno je da ne postoje statistički značajne razlike između vrijednosti kutnih pomaka donjih ekstremiteta boljih i lošijih bacača kugle u rotacijskoj tehnici bacanja kugle. Ovo istraživanje pomoglo je definiranju racionalnijeg obrasca kretanja bacača u finalnoj fazi bacanja kugle i na taj način omogućilo trenerima da znaju na koji način treba izvoditi izbačaj u rotacijskoj tehnici bacanja kugle. Vodeći računa o velikom broju faktora koji utječu na efikasnost tehnike, na osnovi ovog istraživanja ne može se biti sigurno utječe li na razliku u rezultatu brzina opružanja donjih ekstremiteta. Ovakva razmišljanja potiču na pitanje koliki je utjecaj pojedinih varijabli kinematičke diferencijacije (kutne brzine i ubrzanja među segmentima sustava) na efikasnost tehnike bacanja kugle. Tako su rezultati ovog istraživanja otvorili niz novih pitanja na koja treba odgovoriti, te su svakako osnova za naredna istraživanja koja su predmet i ovog projekta.

Cilj istraživanja Harasina i suradnika (Harasin D., Milanović D., Čoh M., 2010.) bio je utvrditi razlike između aritmetičkih sredina kutnog pomaka i kutne brzine u zglobu ramena zamašne ruke u drugoj dvopotpornoj fazi kvalitetnih bacača i kutnog pomaka i kutne brzine u istom zglobu vrhunskih bacača kugle. Uzorak je prikupljen na službenim međunarodnim natjecanjima. Prvi poduzorak bacanja kvalitetnih bacača (duljina hica je bila veća od 16 m, a manja od 17,25 m) sastojao se od 10 ispravnih hitaca (skupina 1), a drugi poduzorak bacanja vrhunskih bacača (duljina hica je bila veća od 19 m, a manja od 20,44 m) sastojao se također od 10 ispravnih hitaca (skupina 2). Prikupljeni uzorak izvedenih bacanja digitaliziran je korištenjem APAS-a. Razlika između skupina kvalitetnih i vrhunskih bacača utvrđena je u kutnom pomaku u ramenu zamašne ruke. Glavni nalaz ovog istraživanja jest podatak da zamah zamašnom rukom mora biti izveden amplitudom koja će osigurati predistezanje struktura koje su aktivne u fazi potiskivanja kugle ili amplitudom koja neće dopustiti povećanje radijusa kojim se kugla giba u završnoj fazi bacanja.

Cilj istraživanja Aleksić-Veljković i suradnici (Aleksić-Veljković, Puletić, i sur., 2011) bio je utvrditi razlike između parametara izbačaja kod vrhunskih srpskih bacača kugle. Tehnika bacanja uzeta je sa *Serbian Cup* 2011. za one natjecatelje koji su imali najbolje rezultate. Vrijednosti varijabli utvrđene su uporabom programa za 2D kinematičku analizu, "Human", verzija 6.0 HMA Technology Inc. 2005, SAD. Pobjednik je imao veće vrijednosti brzine prilikom izbačaja 13m/s^{-1} (13.79m/s^{-1}), dok je brzina drugog i treće rangiranog bila znatno niža (11.9m/s^{-1} i 11.68m/s^{-1}). Najveću visinu bacanja

postigao je drugoplasirani (2.22m), zatim prvoplasirani (2.07m) i trećeplasirani natjecatelj (2.05m). Kut bacanja prvoplasiranog bio je 40.4°, 42.8° drugoplasiranog i 41° za trećeplasiranog. Značaj ovog istraživanja je u prikupljanju informacije korisnih za trenere i sportaše, koje bi omogućile dalje napredovanje tehnike. Autori navode da je u budućim istraživanjima potrebno analizirati i prethodne faze bacanja.

Pregledom ranijih istraživanja fokusiranih na kinematičke prediktore bacanja generalno se može uočiti niz metodoloških nedostataka. Tako primjerice autori donose zaključke temeljem analiza malog uzorka ispitanika (Luhtanen, 1997, Aleksić-Velković, 2011), bacača mlađih dobnih uzrasta (Antekolović, 1997), ubrajanjem u entitete ispravne pokušaje bacanja a ne samo najboljih rezultate (Harasin, 2008), analiziranjem malog broja kinematičkih pokazatelja (Bayun, 2008, Schaa, 2010). Istraživanja općenito zaključuju važnošću kinematičkih pokazatelja u prvom redu parametara izbačaja brzine kugle u trenutku izbačaja, visine kugle i kuta u trenutku izbačaja na duljinu hitca. Primjetan je nedostatak istraživanja multivarijantne kinematičke pozadine bacanja kugle kojom bi se mogla definirati hijerarhija utjecaja pojedinih varijabli. Nadalje istraživači u ispitanike ubrajaju bacače koji sudjeluju na različitim natjecanjima. Zbog tog uzorak ispitanika čine bacači koji se natječu na podlogama nejednake kvaliteta, različitim razinama natjecanja, različitim vremenskim uvjetima što u konačnici može kompromitirati zaključke.

3. PROBLEM ISTRAŽIVANJA

Kretanje ljudskog tijela složen je sustav koji ovisi od velikog broja čimbenika, poput lokomotornog i živčanog sustava, i naravno, o njihovom skladu. Razvojem tehnologije omogućene su razne metode snimanja i analiziranja gibanja ljudskoga tijela, te mogućnost preciznog definiranja gibanja tijela u prostoru. Biomehanička analiza koristi se za određivanje osnovnih kinematičkih i kinetičkih parametara gibanja, odnosno za analizu prostornih, vremenskih i prostorno-vremenskih značajki gibanja (Milanović, 2009). Biomehanika sporta dokazuje svoju praktičnu vrijednost u profesionalnom, školskom sportu, kao i u prevenciji i rehabilitaciji (Ballrecich, 1982). Biomehanika u sportu ima zadatak objektivizirati i korigirati određena gibanja u svrhu poboljšanja rezultata. Podaci dobiveni iz biomehaničke analize korisni su za utvrđivanje efikasnosti izvođenja tehnike bacanja kugle. Na temelju dobivenih kinematičkih parametara može se usporediti izvedba sportaša uključenog u trenažni proces i modela optimalne izvedbe, dobivenog na temelju mjerenja vrhunskih bacača kugle. Kinematičkim postupcima određuju se kinematičke veličine put i vrijeme te su iz toga izvedene veličine brzine i ubrzanja (Ćuk; 1993, Čoh; 1995, Bartlett; 1996, Štuhec; 2002). Kinematika danas omogućava registraciju kretanja, koja su do sada čovjekovim očima bila potpuno nevidljiva. Ova metoda temelji se na registraciji kretanja pomoću visokofrekventnih videokamera i infra spektralnih - CCD kamera brzine 25 do 1000 Hz u trodimenzionalnom prostoru (program ARIEL- Ariel Dynamics Inc.,USA). Metoda kojom možemo precizno utvrditi kretanje određenih segmenata tijela, centralnog težišta tijela, različitih segmenta ubrzanja, vektorske brzine, amplitude pokreta, kutne brzine i to u laboratorijskim kao u natjecateljskim uvjetima. Metoda zahtijeva unaprijed definirane uvijete video snimanja, precizno kalibraciju realnog prostora i sinkronizaciju dvije ili više kamera.

Izrazito bitan utjecaj na rezultat u bacanju kugle imaju i biomehanički parametri koji značajno pridonose rezultatskoj uspješnosti. Pretpostavka je da će se ostvariti bolji rezultat bacač koji uspije svoju tehničku izvedbu, približiti idealnom modelu. Stoga je problem ovog istraživanja bio utvrditi pojedine kinematičke parametre, te njihov utjecaj na rezultat u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih seniora i mlađih seniora. Usporedba određenih kinematičkih parametara kod seniora i mlađih seniora je od izuzetne važnosti za trenažni proces mladih atletičara. Drugo, natjecanje na kojem se ovaj rad namjerava bazirati jedino je natjecanje na kojem se istovremeno (dakle, u istim uvjetima natjecanja) mogu analizirati vrhunski natjecatelji različitih dobnih kategorija (seniori i mlađi seniori).

Kako bacati kuglu linearnom ili rotacijskom tehnikom, prvo je pitanje na koje današnji trener mora odgovoriti. Treneri su suočeni sa izazovom kako, u što kraćem vremenskom roku, proizvesti dobar rezultat u bacanju kugle, s izuzetno kratkim vremenom za pripremu. Suočeni su s nizom problema koji prate mlade sportaše. Kako bi dobili optimalnu izvedbu u kratkom vremenskom razdoblju, moraju primijeniti tehniku koja će donijeti najbrže rezultate. Metodički prvo učimo bacati

kuglu iz mjesta, zatim linearnom tehnikom bacanja kugle. Tradicionalno se smatra da je to najučinkovitiji način bacanja da bi se na početku obučavanja dobili dobri rezultati. Razvoj tehnike bacanja kugle možemo vrjednovati s obzirom na mogućnosti koje tehnika pruža bacaču kako bi iskoristio svoje potencijale. Treneri su se jednostavno „bojali“ rotacijske tehnike, zbog svoje tehničke zahtjevnosti. Međutim, žene i muškarci, u zadnje vrijeme, u približno jednakom omjeru bacaju rotacijskom i linearnom tehnikom. Pregledom rezultata ostvarenih na međunarodnim natjecanjima, kao što su *Olimpijske igre*, *Svjetska* i *Europska prvenstva* u atletici linearna tehnika je više zastupljena kod europskih bacača, tj. na *Europskim prvenstvima*. Europski treneri i sportaši daju više prednost linearnoj tehnici, dok je rotacijska tehnika izuzetno popularna u SAD-u, gdje gotovo svi bacači bacaju rotacijskom tehnikom. Kroz ovaj rad pokušat ćemo djelomično odgovoriti na pitanje koja je tehnika biomehanički učinkovitija, analizom kinetičkih i kinematičkih parametara. Kako brzina kugle kod linearne i rotacijske tehnike koju bacač „donese“ u fazu izbačaja utječe na početnu brzinu kugle. Zatim, kojim parametrima u najvećoj mjeri možemo objasniti rezultat u bacanju kugle, te čitav niz pitanja koje možemo izvući iz istraživanja ovoga rada.

4. CILJ ISTRAŽIVANJA

Osnovni cilj ovog istraživanja je analiza kinematičkih parametara te utvrđivanje njihova utjecaja na rezultatsku učinkovitost u disciplini bacanje kugle linearnom i rotacijskom tehnikom kod vrhunskih europskih seniora i mlađih seniora.

Sukladno postavljenom osnovom cilju moguće je postaviti sljedeće parcijalne ciljeve:

1. utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle na ukupnom uzorku ispitanika,
2. utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle rotacijskom tehnikom,
3. utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle linearnom tehnikom,
4. utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle kod seniora,
5. utvrditi utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle kod mlađih seniora,
6. utvrditi razlike u varijablama za procjenu kinematičkih parametara u disciplini bacanja kugle između seniora i mlađih seniora,
7. utvrditi razlike u pojedinim varijablama za procjenu kinematičkih parametara između linearne i rotacijske tehnike kod vrhunskih Europskih seniora i mlađih seniora.

5. HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

U skladu sa ciljevima istraživanja postavljaju se slijedeće hipoteze:

- H1: Postoji statistički značajan utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle na ukupnom uzorku ispitanika,
- H2: Postoji statistički značajan utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle rotacijskom tehnikom,
- H3: Postoji statistički značajan utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle linearnom tehnikom,
- H4: Postoji statistički značajan utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle tehnikom kod seniora,
- H4: Postoji statistički značajan utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle tehnikom kod mlađih seniora
- H5: Postoje statistički značajne razlike u varijablama za procjenu kinematičkih parametara između seniora i mlađih seniora u disciplini bacanje kugle
- H7: Postoje statistički značajne razlike u varijablama za procjenu kinematičkih parametara između linearne i rotacijske tehnike kod vrhunskih Europskih seniora i mlađih seniora.

6. METODE RADA

6.1. Uzorak ispitanika

Istraživanje je provedeno tijekom natjecanja na *Zimskom bacačkom kupu (Cup Winter Throwing)*. Samo ovo natjecanje drži se za neslužbeno *Europsko prvenstvo* u bacanju zbog nemogućnosti održavanja bacačkih disciplina (koplje, disk i kladivo) na *Europskom prvenstvu u dvorani* te kao takvo privlači najbolje bacače. Istraživanje je provedeno na ukupnom uzorku od 24 bacača tako da je za svakog bacača analiziran najbolji ispravan hitac ostvaren na natjecanju. Za potrebe ove disertacije ukupni uzorak je podijeljen na dva poduzorka i to poduzorak seniora (+ 23 god., $n=12$) i poduzorak mlađih seniora (do 23 god., $n=12$). Analiziranjem oba poduzorka autor ove doktorske disertacije je želio dobiti uvid u veći raspon rezultata u pojedinim kinematičkim parametrima odnosno njegov utjecaj na rezultatsku uspješnost. Naime iako su mlađi seniori unutar svoje dobne skupine vrhunski bacači u kontekstu maksimalnih bacačkih potencijala ipak se radi o još uvijek neformiranom i neafirmiranom uzorku. Stoga je za pretpostaviti kako su ovi bacači generalno tehnički inferiorniji što podrazumijeva i njihova odstupanja u pojedinim kinematičkim parametrima u odnosu na poduzorak seniora.

Organizator je natjecatelje dodatno podijelio prema grupama A i B kod seniora i grupu A kod mlađih seniora. Ovakve podjele specifične su za bacačka natjecanja i temelje se prvenstveno na renomeu pojedinih bacača.

- U grupi A seniori natjecali su se: Asmir Kolasinac , Borya Vivas , Candy Bauer, Soslan Tsirikhov, Georgi Ivanov, Milan Jotanović, Lajos Kürthy.
- Grupa B seniori: Georgios Aresti, Huseyin Atici, Paolo dal Soglio, Valeriy Kokoyev, Viktor Samolyuk.
- Grupa A mlađi seniori: Hendrik Muller, Itamar Levi, Lukas Weishaidinger, Marin Premeru, Maksim Afonin, Marko Spiler, Mesud Pezer, Mikhal Abramchuk.

6.2. Uzorak varijabli

Prediktorski skup varijabli sačinjava 12 kinematičkih varijabli i dvije antropometrijske mjere standardnih mjera koje su (Zatsiorsky, 1998) definirane kao dobri kinematički prediktori uspjeha u disciplini bacanja kugle. Kriterijska varijabla je rezultat u bacanju kugle. Primijenjene su sljedeće mjere za procjenu kinematičkih parametara kod rotacijske i linearne tehnike:

- R – službeni rezultat (m)

Najbolji rezultat koji su bacači postigli na *Cup Winter Throwing*

- ATV – tjelesna visina (cm)

Tjelesna visina dobivena je uvidom u biografije bacača kugle koje su objavljene na službenim stranicama *Međunarodne atletske federacije* (IAAF) .

- ATT – tjelesna masa (kg)

Tjelesna masa dobivena je uvidom u biografije bacača kugle koje su objavljene na službenim stranicama *Međunarodne atletske federacije* (IAAF).

- BrzKlzb – Brzina kugle u trenutku izbačaja ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Brzina kugle u trenutku izbačaja je mjera brzine za vrijeme zadnjeg kontakta kugle i šake u trenutku napuštanja kugle tj. izbačaja.



Slika 1. Posljednji kontakt kugle u trenutku izbačaja

- PrBrzKOKr – Prosječna brzina kugle u okretu kod rotacijske tehnike ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Prosječna brzina kugle, uzima se prosječna brzina kugle početka rotacije – prva dvopotporna faza tj. odvajanje desne noge od podloge do druge dvopotporne faze – faza izbačaja.



Slika 2. početak okreta



Slika 3. Faza izbačaja

- PrBrzKKliz – Prosječna brzina kugle u fazi klizanja linearna tehnika ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Prosječna brzina kugle u fazi klizanja uzima se prosječna brzina kugle od početka klizanja do trenutka odvajanja desne noge od podloge.

- BrzKPoclzb – Brzina kugle na početku izbačaja ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Brzina kugle na početku izbačaja uzima se brzina kugle u fazi maksimalnog naprezanja-dvopotporna faza.

- PrBrzKFizb – Prosječna brzina kugle u fazi izbačaja ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Prosječna brzina kugle u fazi izbačaja uzima se prosječna brzina kugle od početka izbačaja (dvopotporna faza) do zadnjeg kontakata kugle s šakom – trenutak izbačaja.

- BrzCTTlzb – Brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja – mjeri se brzina centra mase u trenutku izbačaja.

- PBrzCTTlzb – Prosječna brzina centra težišta tijela ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Prosječna brzina centra težišta tijela uzima se prosječna brzina centra težišta tijela od početka izbačaja (dvopotporna faza) do zadnjeg kontakata kugle s šakom – trenutak izbačaja.

- BrzKNajn – Brzina kugle u najnižoj točki- faza izbačaja –prema brzini najniža točka ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Brzina kugle u najnižoj točki očitavala se iz grafičkog prikaza „dinamike brzine“ za pojedinog bacača. U fazi maksimalnog naprezanja točka „punjenja“ kada kreće ubrzanje kugle.

- PrBrzKPunj – Prosječna brzina kugle u najnižoj točki- faza izbačaja –prema brzini najniža točka ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

Prosječna brzina kugle u najnižoj točki uzimala se prosječna brzina između najniže točke „punjenja“ kugle u fazi izbačaja do trenutka izbačaja kugle.

- VisIzb – Visina izbačaja (m)

Visina izbačaja je udaljenost kugle u trenutku izbačaja i razine podloge.



Slika 4. Visina izbačaja

- VrTrTehn - Vrijeme trajanja tehnike (s)

Vrijeme trajanja tehnike uzimao se početak prve jednogotporne faze za obje tehnike do trenutka izbačaja

- VisJPoclzb – Visina kugle na početku izbačaja (m)

Visina kugle na početku faze izbačaja mjeri se udaljenost kugle od podloge, te izražava u metrima. – faze maksimalnog naprezanja.



Slika 5. Visina kugle na početku izbačaja

Tablica 3. Prikaz kinematičkih parametara bacanja kugle

Varijabla	Oznaka	Mjerna jedinica
Rezultat (službeni rezultat)	R	m
Tjelesna visina	ATV	cm
Tjelesna masa	ATT	kg
Brzina kugle u trenutku izbačaja	BrzKlzb	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Prosječna brzina kugle u okretu kod rotacijske tehnike	PrBrzKOKr	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Prosječna brzina kugle u fazi klizanja linearna tehnika	PrBrzKKliz	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Brzina kugle na početku izbačaja	BrzKPoclzb	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Prosječna brzina kugle u fazi izbačaja	PrBrzKFlzb	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Prosječna brzina centra težišta tijela u fazi izbačaja	PBrzCTTlzb	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja	BrzCTTlzb	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Brzina kugle u najnižoj točki- faza izbačaja –prema brzini najniža točka	BrzKNajn	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Prosječna brzina kugle u najnižoj točki- faza izbačaja	PrBrzKPunj	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
Visina izbačaja	Vislzb	m
Visina kugle na početku izbačaja	VisJPoclzb	m
Kut izbačaja	Kutlzb	°

6.3. Prikupljanje video zapisa za kinematičku analizu

Prikupljanje i obrada video zapisa koja je primijenjena u ovom radu korištena je i u ranijim istraživanjima koja se bave sličnom ili istom problematikom. Mjerenje je provedeno u ožujku 2012. godine na atletskom stadionu u Baru, koji svojim karakteristikama zadovoljava potrebe mjerenja. Od organizatora natjecanja i tehničkog delegata dobivena je dokumentacija i dozvole za postavljanje kamera unutar borilišta. Vremenski uvjeti za vrijeme natjecanja bili su u skladu s pravilima održavanja atletskih natjecanja. Temperatura zraka bila je između 23 i 25 C °, ujedno je bilo i dovoljno svjetlosti što je dodatno povećalo kvalitetu video zapisa. Za realizaciju ovog rada i prikupljanje video zapisa potrebnih za kinematičku analizu koristili smo dvije digitalne video kamere Casio EX-F1 sa 300 Hz. Na početku snimanja snimit će se kalibracijski okvir (200x100x100 cm) pomoću kojeg je prilikom analize omogućena precizna kalibracija prostora.

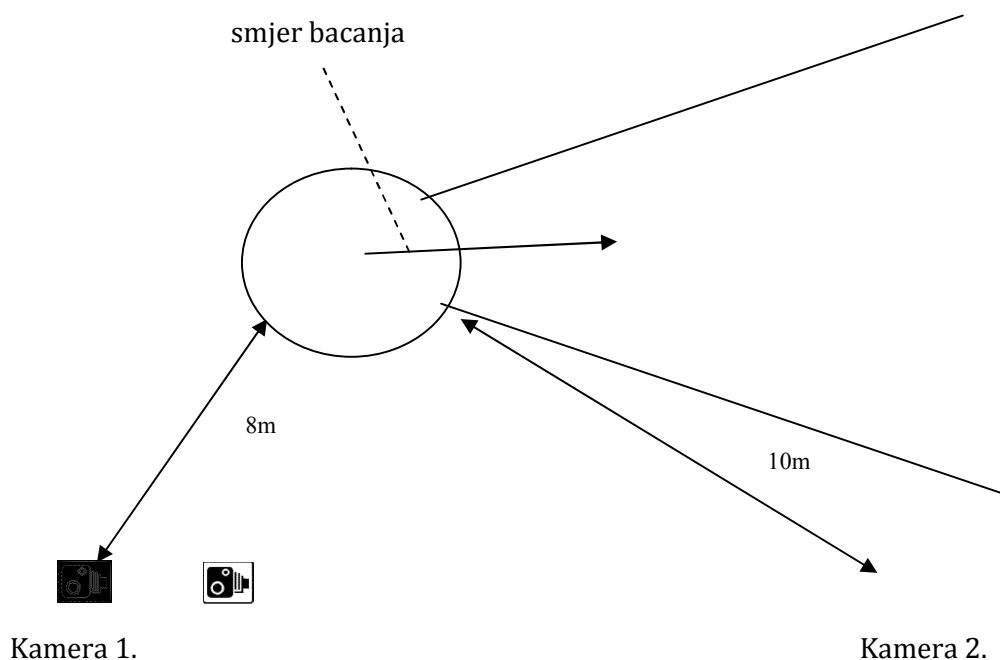


Slika 6. kalibracija prostora

Dužinu analiziranog kretanja definirali smo sa »x« osom, visinu sa »y« osom i dubinu sa »z« osom. Materijali koji su snimljeni obrađeni su odgovarajućim softverom za biomehaničku analizu i to programskim paketom – APAS (Ariel Performance System, San Diego, California). Za svaku sliku zapisa izvršena je digitalizacija 18 referentnih točaka koje definiraju 14 segmenata tijela (stopalo, potkoljenice, natkoljenice, trup, nadlaktice, podlaktice, dlanovi i glava). Osim digitalizacije referentnih točaka tijela izvršena je i digitalizacija atletske sprave, te digitalizacija osam točaka koje definiraju kalibracijski okvir nužan za rekonstrukciju trodimenzionalnog prostora. Kako bi se izvršila sinkronizacija kamera, određena je vremenska točka za sinkronizaciju koju je predstavljao moment kad kugla napušta ruku. Mase i centri gravitacije segmenata kao i centar gravitacije tijela izračunati su na osnovi antropometrijskog modela (Dempster, 1955).

6.4. Kontrola uvjeta mjerenja

Metodologija prikupljanja i obrade video zapisa provedena je u strogo kontroliranim uvjetima. Mjerenje je provedeno na atletskom stadionu koji svojim karakteristikama zadovoljava potrebe mjerenja i omogućava mogućnost smanjenja pogreške mjerenja. Raspoloživi prostor bio je adekvatan za postavljanje kamera i samog kalibracijskog okvira. Kamere jedan i dva postavljene su 8 m odnosno 10 m od kruga i nisu se su pomjerale do kraja mjerenja. Ovakvim lociranjem kamera u blizini bacališta vjerojatno su ostvarene pretpostavke za dobivanje vjerodostojnijih podataka u odnosu na ranija istraživanja u kojima su kamere bile locirane na tribinama (Ariel.,2004, Sochaa 2010) ili na mjestima dislociranim od bacališta. Razlog je taj što postavljanjem kamera unutar borilišta u neposrednoj blizini kruga može se puno bolje kontrolirati sam kadar snimanja kao i izbjeći ometanja od strane sudaca, natjecatelja ili publike. Važno je istaći i kako je ovim istraživanjem praćen relativno veliki broj vrhunskih bacača u gotovo identičnim uvjetima. Naime često istraživači uspoređuju bacače temeljem podataka dobivenih s različitih natjecanja. Takve usporedbe nisu posve objektivne zbog toga što se uspoređuju rezultati dobiveni tijekom natjecanja različite važnosti, različite kvalitete bacališta ili vremenskih prilika (vlažnost, vjetar itd.), što sve u konačnici može utjecati na rezultate.



Slika 7. Pozicioniranje kamera u odnosu na krug iz kojeg su atletičari bacali i smjer bacanja

6.5. Metode obrade podataka

U skladu s ciljevima ovog istraživanja koristile su se sljedeće metode:

Izračunati su osnovni deskriptivni parametri:

- a) aritmetička sredina – AS
- b) standardna devijacija – SD
- c) minimalni rezultat – MIN
- d) maksimalni rezultat – MAX
- e) mjera asimetričnosti distribucije (Skewness) – SK
- f) mjera spljoštenosti distribucije (Kurtosis) – KURT
- g) mjera normaliteta distribucije (Kolmogorov-Smirnov testa) – KS test.

Za utvrđivanje relacija između kinematičkih parametara i rezultata u bacanju kugle koristila se Stepwise regresijska analiza. U sklopu regresijske analize izračunali su se sljedeći parametri:

- Beta – standardizirani regresijski koeficijent
- p – razina značajnosti
- R – koeficijent multiple korelacije
- Rsq – koeficijent determinacije.

Kako bi se utvrdila razlika u varijablama kinematičkih parametara između natjecatelja različitih kvalitativnih razina, te razlika između dvije tehnike bacanja kugle koristiti će se univarijantna analiza varijance, t-test za nezavisne uzorke i multivarijantna analiza: diskriminacijska analiza.

U sklopu diskriminacijske analize izračunali su se sljedeći parametri:

- DF – struktura značajnog diskriminativnog korijena
- Can R – kanonički koeficijent korelacije
- p – razina značajnosti
- C – položaji centroida skupina.

Primjenom T-testa za nezavisne uzorke izračunati su sljedeći parametri:

- AS – aritmetička sredina
- SD – standardna devijacija
- T-value – vrijednost t testa
- p – razina značajnosti.

7. REZULTATI

U ovom poglavlju rezultati će se prezentirati tematski, sukladno primijenjenim analizama i načinu uzorkovanja ispitanika, dakle prezentirati će se kroz sljedeće podnaslove:

- Deskriptivni statistički parametri,
- Razlike u kinematičkim parametrima između dva poduzorka uzorka bacača kugle (univarijatne i multivarijatne),
- Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle,
- Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara.

7.1. Deskriptivni statistički parametri

Nakon obrade podataka kroz niz faza standardnih za programski paket APAS izračunate su potrebne kinematičke veličine i očitane su sve potrebne vrijednosti za svaki ispravan maksimalni rezultat. Za potrebe ove disertacije promatran je ukupni uzorak od 24 bacača, za svakog ispitanika analiziran je najbolji hitac. Deskriptivna statistika kinematičkih pokazatelja navedenih hitaca kao i antropometrijskih obilježja bacača prikazana je u prvom dijelu ovog podnaslova (Tablica 1). Daljnja deskriptivna statistička obrada primijenjena je posebno na poduzorcima definiranim prema kategoriji dobne pripadnosti bacača i to na poduzorku seniora (+ 23 god., Tablica 2) i poduzorku mlađih seniora (do 23 god. Tablica 3).

Tablica 4

Deskriptivni statistički podaci – ukupan uzorak ispitanika

(AS – aritmetička sredina; Min – minimalni rezultat; Max – maksimalni rezultat; SD – standardna devijacija; Skew - mjera asimetričnosti distribucije (Skewness); Kurt - mjera spljoštenosti distribucije (Kurtosis) ; K-S test- mjera normaliteta distribucije (Kolmogorov-Smirnov test)

	AS	Min	Max	SD	Skew	Kurt	K-S
Rezultat (m)	18,61	15,17	21,01	1,36	-0,91	-0,15	0,16
ATV (cm)	191,13	180,00	215,00	7,74	1,69	4,14	0,18
ATT (kg)	116,92	92,00	139,00	12,89	-0,46	-0,10	0,09
BrzKlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	13,14	11,71	14,38	0,58	0,08	0,85	0,17
Vislzb (m)	2,22	2,01	2,49	0,11	0,18	1,61	0,15
Kutlzb ($^{\circ}$)	34,75	31,20	37,00	1,24	0,04	0,78	0,15
PrBrzKFlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,39	1,00	9,24	1,45	-0,79	-0,28	0,25
BrzKPoclzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,05	1,02	3,37	0,68	0,28	-1,34	0,09
PrBrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,46	0,59	5,57	1,08	-1,17	0,22	0,13
BrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,63	0,61	2,90	0,78	-0,62	-1,63	0,14
PrBrzKPunj($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,62	6,44	8,19	0,50	-1,21	0,54	0,17
BrzKNajnT($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,11	0,76	3,30	0,69	-0,54	-0,92	0,13
VisKPoclzb (m)	1,29	1,08	1,93	0,19	1,88	2,93	0,22

Granična vrijednost K-S testa za N=24 iznosi 0,32 $p = 0,05$

LEGENDA: Rezultat – postignuti rezultat u bacanju kugle, ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna masa, BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFlzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPoclzb - Brzina kugle na početku izbačaja, PrBrzCTTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, BrzCTTlzb - brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, PrBrzKPunj - prosječna brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), BrzKNajn - brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

U tablici 4 prikazani su rezultati deskriptivnih statističkih procedura za sve primijenjene varijable bacanja kugle kao i morfološke mjere (visina i masa tijela) bacača na ukupnom uzorku ispitanika. Ovom obradom pored duljine hitca koja je izražena u metrima obuhvaćene su i kinematički pokazatelji pojedinih segmenata tehnike bacanja kugle analizirajući pri tome parametre pojedinih brzina kugle i referentnih točaka tijela i to ukupno deset pokazatelja.

Normalitet distribucije primijenjenih mjera utvrđen je KS testom a dodatno je analiziran i koeficijentima asimetričnosti (skewnessom) i izduženosti (Kurtosisom) distribucije. Temeljem rezultata KS-testa (usporedbom dobivenih i granične max D vrijednosti koja za veličinu primijenjenog uzorka iznosi 0,32) može se utvrditi kako su sve varijable bile normalno distribuirane odnosno njihove distribucije nisu se značajno razlikovale od teoretske (Gaussove distribucije). Najniža max D vrijednost dobivena je kod dvije varijable i to mase tijela (ATT) i brzina kugle na početku izbačaja (BrzKPoclzb) i iznosila je 0,09. Varijabla ATT imala je i najniže vrijednosti koeficijenata asimetričnosti i

izduženosti koje u oba slučaja ne odstupaju puno od nule, odnosno vrijednosti ovih koeficijenta za normalnu distribuciju. S druge strane najviše vrijednosti KS testa dobivene su za varijablu VisKPoclzb ($KS=0,25$) i PrBrzKFlzb ($KS=0,22$). Temeljem vrijednosti Skewnissa ($Ske=1,88$) i Kurotsisa ($Kurt=2,93$) uočenih kod varijable VisKPoclzb može se zaključiti kako je distribucija rezultata u ovoj varijabli naginjala pozitivnoj asimetričnosti zbog gomilanja rezultata u zoni nižih vrijednosti, kao nešto većoj izduženosti distribucije odnosno njenom leptokurtičnom obliku.

Tablica 5

Deskriptivni statistički podaci – pod-uzorak ispitanika-seniori

(AS – aritmetička sredina; Min – minimalni rezultat; Max – maksimalni rezultat; SD – standardna devijacija)
Skew-mjera asimetričnosti distribucije (Skewness); Kurt-mjera spljoštenosti distribucije (Kurtosis) ; K-S test -
mjera normaliteta distribucije (Kolmogorov-Smirnov test)

	AS	Min	Max	SD	Skew	Kurt	K-S
Rezultat (m)	19,44	18,32	21,01	0,80	0,53	0,08	0,17
ATV (cm)	190,83	180,00	204,00	6,74	0,76	0,63	0,22
ATT (kg)	117,08	94,00	139,00	14,01	0,17	-0,55	0,17
BrzKlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	13,33	12,77	14,08	0,36	0,41	0,46	0,19
Vislzb (m)	2,20	2,03	2,38	0,10	0,05	-0,00	0,15
Kutlzb ($^{\circ}$)	35,35	34,50	36,00	0,43	-0,39	-0,04	0,15
PrBrzKFlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,87	7,43	9,24	0,49	2,29	6,03	0,29
BrzKPoclzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,25	1,34	3,37	0,64	0,27	-0,81	0,10
PrBrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,22	0,59	5,57	1,29	1,87	4,75	0,24
BrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,31	0,68	1,94	0,38	0,19	-0,59	0,17
PrBrzKPunj($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,64	6,76	8,10	0,44	-1,16	0,41	0,18
BrzKNajnT($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,95	0,76	2,80	0,63	-0,90	0,10	0,18
VrTrTehn (s)	0,90	0,70	1,03	0,09	-0,53	0,25	0,10
VisKPoclzb (m)	1,23	1,08	1,39	0,09	0,16	-0,56	0,14

Granična vrijednost K-S testa za N=12 iznosi 0,37.

LEGENDA: Rezultat – postignuti rezultat u bacanju kugle, ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna masa, BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFlzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPoclzb - Brzina kugle na početku izbačaja, PrBrzCTTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, BrzCTTlzb - brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, PrBrzKPunj - prosječna brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), BrzKNajn - brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), VrTrTehn - Vrijeme trajanja tehnike, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

Deskriptivne statističke procedure koje su primijenjene na varijable morfologije i kinematičke varijable bacanja kugle kod poduzoraka seniora ukazuju kako su vrijednosti rezultata numerički različite od onih dobivenih na ukupnom uzorku. Tako je zabilježen prosječni rezultat u bacanju kugle od 19,44m, što je veća vrijednost od srednje vrijednosti rezultata dobivene na ukupnom uzorku (18,61m). Daljnja usporedba otkriva kako su u pojedinim varijablama kod seniora ostvarene veće numeričke vrijednosti dok su u pojedinim niže numeričke vrijednosti u odnosu na ukupni uzorak ispitanika. Razlike u ovim varijablama između poduzoraka naknadno će se statistički analizirati i diskutirati u poglavljima koja slijede. Primjenom KS-testa (usporedbom dobivenih i granične max D vrijednosti koja za veličinu primijenjenog uzorka iznosi 0,32) i na ovom poduzorku utvrđena je normalna distribucija za sve varijable. Najviša max D vrijednost dobivena je kod varijable PrBrzKFlzb, a daljnja analiza distribucije rezultata preko koeficijenta asimetričnosti ($Ske=2,29$) i izduženosti

(Kurt=6,03) otkriva kako je ista nagnuta pozitivnoj asimetričnosti (gomilanjem rezultata u zoni nižih vrijednosti), kao nešto većoj izduženosti odnosno leptokurtičnom obliku.

Tablica 6

Deskriptivni statistički podaci – subuzorak ispitanika-mlađi seniori

(AS – aritmetička sredina; Min – minimalni rezultat; Max – maksimalni rezultat; SD – standardna devijacija)
Skew-mjera asimetričnosti distribucije (Skewness); Kurt-mjera spljoštenosti distribucije (Kurtosis) ; K-S test-mjera normaliteta distribucije (Kolmogorov-Smirnov test)

	AS	Min	Max	SD	Skew	Kurt	K-S
Rezultat (m)	17,79	15,17	19,49	1,33	-0,91	-0,15	0,24
ATV (cm)	191,42	182,00	215,00	8,93	1,69	4,14	0,22
ATT (kg)	116,75	92,00	135,00	12,29	-0,46	-0,10	0,17
BrzKlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	12,95	11,71	14,38	0,70	0,08	0,85	0,20
Vislzb (m)	2,24	2,01	2,49	0,12	0,18	1,61	0,18
Kutlzb ($^{\circ}$)	34,16	31,20	37,00	1,51	0,04	0,78	0,14
PrBrzKFlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,37	6,43	8,05	0,50	-0,79	-0,28	0,20
BrzKPoclzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,86	1,02	2,98	0,69	0,28	-1,34	0,16
PrBrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,70	1,01	3,47	0,81	-1,17	0,22	0,28
BrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,95	0,61	2,90	0,95	-0,62	-1,63	0,29
PrBrzKPunj($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,61	6,44	8,19	0,58	-1,21	0,54	0,20
BrzKNajnT($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,26	1,10	3,30	0,73	-0,54	-0,92	0,21
VrTrTehn (s)	0,96	0,79	1,16	0,12	0,21	-0,70	0,13
VisKPoclzb (m)	1,34	1,14	1,93	0,24	1,88	2,93	0,21

Granična vrijednost K-S testa za N=12 iznosi 0,37.

LEGENDA: Rezultat – postignuti rezultat u bacanju kugle, ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna masa, BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFlzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPoclzb - Brzina kugle na početku izbačaja, PrBrzCTTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, BrzCTTlzb - brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, PrBrzKPunj - prosječna brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), BrzKNajn - brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), VrTrTehn - Vrijeme trajanja tehnike, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

Deskriptivnom analizom dobivena je prosječna vrijednost rezultata od 17,79 m odnosno numerički niža vrijednost od vrijednosti ove varijable na ukupnom uzoraka kao i poduzorak seniora, prikazanih u prethodne dvije tablice. Također su dobivene i numerički različite vrijednosti bilo da se radi o nižim (primjerice BrzKlzb) ili višim vrijednostima (primjerice VisKPoclzb) u preostalim varijablama u odnosu na prethodno analizirane poduzorke) rezultata. Ove numeričke razlike naknadno će se statistički analizirati i diskutirati u poglavljima koja slijede. Sve primijenjene varijable imale su prihvatljivu metrijsku karakteristiku osjetljivosti za definirani kriterij nerazlikovanja od normalne distribucije pri $p > 0,05$. Na osnovu vrijednosti Skewness može se govoriti o distribucijama

koje naginju negativnoj odnosno pozitivnoj asimetriji i to kod testa PrBrzCTTlzb (odnosno testa VisKPoclzb). Vrijednosti Kurtosisa ukazuju kako je kod BrzCTTlzb i ATV dobiven oblik distribucije bio spljošten odnosno izdužen.

7.2. Razlike u kinematičkim parametrima kod vrhunskih atletičara bacača kugle

U ovom poglavlju prikazani su rezultati dobiveni izračunavanjem parametara univarijantnih (T testa za nezavisne uzorke) i multivarijantnih razlika (diskriminacijska kanonička analize - Forward stepwise model). Izračunate su razlike u kinematičkim parametrima između mlađih seniora i seniora (rotacijska i linearna tehnika), te razlike između biomehaničkih parametara dviju tehnika bacanja kugle (rotacijska i linearna tehnika) kod mlađih seniora i seniora.

7.2.1. Razlike u kinematičkim parametrima između mlađih seniora i seniora

Razlike u antropometrijskim mjerama odnosno razlike kinematičkih pokazatelja hitca između seniora (+23 god.) i mlađih seniora (do 23 god.) prikazane su u tablicama 7. i 8. Ukratko u tablici 7 prikazani su rezultati univarijantne analize razlika između navedenih dobnih kategorija (T test) dok su u tablici 8 prikazani rezultati primijenjene multivarijantne analize (diskriminativne analize).

Tablica 7

Univarijantna analiza razlika između mlađih seniora i seniora

(AS – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; T-value – vrijednost t testa; p – razina značajnosti)

	Seniori		Mlađi seniori		t test	
	AS	SD	AS	SD	t-value	p-level
Rezultat (m)	19,44	0,80	17,79	1,33	3,67	0,00
ATV (cm)	190,83	6,74	191,42	8,93	-0,18	0,86
ATT (kg)	117,08	14,01	116,75	12,29	0,06	0,95
BrzKlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	13,33	0,36	12,95	0,70	1,67	0,11
Vislzb (m)	2,20	0,10	2,24	0,12	-0,81	0,43
Kutlzb ($^{\circ}$)	35,35	0,43	34,16	1,51	2,63	0,02
PrBrzKFlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,87	0,49	7,37	0,50	2,48	0,02
BrzKPoclzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,25	0,64	1,86	0,69	1,41	0,17
PrBrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,22	1,29	2,70	0,81	-1,05	0,31
BrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,31	0,38	1,95	0,95	-2,09	0,05
PrBrzKPunj($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,64	0,44	7,61	0,58	0,16	0,87
BrzKNajnT($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,95	0,63	2,26	0,73	-1,12	0,28
VrTrTehn($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,90	0,09	0,96	0,12	-1,57	0,13
VisKPoclzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,23	0,09	1,34	0,24	-1,49	0,15

LEGENDA: Rezultat – postignuti rezultat u bacanju kugle, ATV – tjelesna visina, ATT – tjelesna masa, BrzKlzb – brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb – visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb – kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFlzb – prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPoclzb – Brzina kugle na početku izbačaja, PrBrzCTTlzb – prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, BrzCTTlzb – brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, PrBrzKPunj – prosječna brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), BrzKNajn – brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), VrTrTehn – Vrijeme trajanja tehnike, VisKPoclzb – visina kugle na početku izbačaja

Tablica 7 prikazuje rezultate univarijantnih analiza razlika između mlađih seniora i seniora, a za promatrane varijable. Shodno dobivenim rezultatima razlika, može se uočiti kako dvije dobne skupine značajno razlikuje postignuti rezultat, seniori postižu značajno „bolji“ rezultata od mlađih seniora ($19,44 \pm 0,80$ i $17,790 \pm 1,33$). Druga varijabla u kojoj se skupine razlikuju je kut izbačaja gdje seniori postižu veći rezultat. Analizirajući vrijednost kuta izbačaja kod seniora može se pretpostaviti kako je on bliži idealnom kutu izbačaja. Prosječna brzina kugle u okretu je također značajno različita, te treba napomenuti da je to tim značajnije ako se zna kako je ova varijabla analizirana samo za 12 ispitanika odnosno 6 seniora i 6 mlađih seniora (koji bacaju rotacijsku tehniku), te je samim tim smanjen i broj stupnjeva slobode. Drugim riječima ovo je očito varijabla koja značajno determinira kvalitetu bacača s obzirom da su zabilježene razlike u korist seniora. Prosječna brzina kugle u fazi izbačaja znatno je veća kod seniora ($7,87 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) nego kod mlađih seniora ($7,37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Jedina varijabla u kojoj mlađi seniori postižu veće rezultate je Brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja. Međutim ovaj numerički veći rezultat kod mlađih seniora ne znači kvalitetniju izvedbu o čemu će više riječi biti u diskusiji.

Tablica 8

Multivarijatna analiza razlika između mlađih seniora i seniora

(DF – struktura značajnog diskriminativnog korijena; Can R – kanonički koeficijent korelacije; p – razina značajnosti; C – položaji centroida skupina)

	Root 1
KutIzb(°)	0,44
BrzKIzb(m·s ⁻¹)	0,28
BrzKNajnT (m·s ⁻¹)	-0,21
BrzCTTIzb(m·s ⁻¹)	-0,36
Can R	0,80
Wilks Lambda	0,37
P	0,00
	Root 1
C: Seniori	1,25
C: Ml seniori	-1,25

LEGENDA: BrzKIzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, KutIzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFIzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPocIzb - Brzina kugle na početku izbačaja, BrzCTTIzb - brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, BrzKNajn - brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“)

U tablici 8 prikazani su rezultati diskriminacijske kanoničke analize (*Forward stepwise model*) kojom su utvrđene razlike između dvije grupa ispitanika ovisno o dobi. Diskriminativna funkcija je značajna, te se seniori nalaze projicirani na pozitivnom polu, a mlađi seniori na negativnom polu funkcije. U skladu s prethodno analiziranim vrijednostima univarijantnih razlika između dobnih skupina treba napomenuti kako seniori postižu numerički više rezultate tj. kvalitetnije postignuće u kutu izbačaja i Brzine kugle u izbačaju dok mlađi seniori numerički veće rezultate postižu u varijabli Brzina kugle u najnižoj točki i Brzina težišta tijela u trenutku izbačaju. U ovom trenutku treba voditi računa da se rezultat u bacanju kugle kao varijabla nije uključivao u diskriminativnu analizu. S obzirom da je već utvrđeno da seniori postižu bolji rezultat nego mlađi seniori jasno je kako će ovakva diskriminativna struktura dobrim dijelom odrediti i regresijski utjecaj pojedinih varijabli.

7.2.2. Razlike u kinematičkim parametrima između linearne i rotacijske tehnike

Analizama razlike subuzorka seniora i mlađih seniora u ovom istraživanju analizirane su i razlike subuzoraka definiranih temeljem tehnike kojom su bacali. Tako su u tablicama 10 i 11 prikazani rezultati univarijantne i multivarijantne analize razlika između bacača linearne i rotacijske tehnike i to u primijenjenim morfološkim i kinematičkim varijablama. Važno je napomenuti kako su razlike u kinematičkim pokazateljima analizirane samo u onim varijablama nominalno istim kod obje tehnike bacanja.

Tablica 9

Univarijatne razlike između linearne i rotacijske tehnike - T test za nezavisne uzorke

(AS – aritmetička sredina; SD – standardna devijacija; T-value – vrijednost t testa; p – razina značajnosti)

	Linearna		Rotacijska		t test	
	AS	SD	AS	SD	t-value	p-level
Rezultat (m)	18,78	0,69	18,45	1,83	0,58	0,57
ATV (cm)	190,83	7,16	191,42	8,60	-0,18	0,86
ATT (kg)	114,25	13,01	119,58	12,75	-1,01	0,32
BrzKlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	13,11	0,33	13,17	0,77	-0,25	0,80
Vislzb (m)	2,24	0,08	2,20	0,13	1,01	0,33
Kutlzb ($^{\circ}$)	35,14	1,05	34,37	1,34	1,58	0,13
PrBrzKFlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,94	0,46	6,85	1,87	1,95	0,06
BrzKPoclzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,60	0,42	1,51	0,38	6,73	0,00
PrBrzCTTlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,51	0,79	2,41	1,35	0,21	0,83
BrzCTTlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,39	0,78	1,87	0,74	-1,46	0,16
PrBrzKPunj ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	7,76	0,37	7,49	0,59	1,37	0,19
BrzKNajnT ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	2,41	0,65	1,80	0,60	2,40	0,03
VrTrTehn (s)	0,86	0,09	1,00	0,09	-3,65	0,00
VisKPoclzb(m)	1,29	0,26	1,28	0,06	0,11	0,92

LEGENDA: Rezultat – postignuti rezultat u bacanju kugle, ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna masa, BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFlzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPoclzb - Brzina kugle na početku izbačaja, PrBrzCTTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, BrzCTTlzb - brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, PrBrzKPunj - prosječna brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), BrzKNajn - brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), VrTrTehn - Vrijeme trajanja tehnike, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

U tablici 9 prikazane su rezultati statističkih analiza kojima su utvrđene razlike između dvije tehnike bacanja (linearna i rotacijska tehnika) za sve varijable analizirane u ovom radu. Značajne razlike se uočavaju za varijablu Brzina kugle u početnoj fazi izbačaja, Brzina kugle u najnižoj točki i Vrijeme trajanja tehnike (t-valute: 6.73; p-level:0.00). Sama razlika u vremenu trajanja tehnike ne treba se posebno interpretirati s obzirom da se radi o logičnoj razlici jer rotacijska tehnika po svojoj

strukturi dulje traje od linearne tehnike, pa je to bilo i očekivano. Potrebno je napomenuti da se radi o razlici od 14 %. Brzina kugle u najnižoj točki izbačaja bitno je veća kod linearne tehnike od rotacijske tehnike ($2,41 \pm 0,65$ i $1,80 \pm 0,60$ m/s). Međutim kao što se može vidjeti iz konačnog rezultata to nije varijabla s kojom se postiže ukupno statistički značajno veće postignuće u linearnoj tehnici. Treća varijabla je Brzina kugle na početku izbačaja u kojoj je gotovo dvostruko veća vrijednost zabilježena kod linearne u odnosu na rotacijsku tehniku ($260 \pm 0,42$ i $1,5 \pm 0,38$). O pozadini dobivenih razlika govoriti će se u raspravi.

Tablica 10

Multivarijantna analiza razlika između linearne i rotacijske tehnike - Diskriminativna kanonička analiza

(DF – struktura značajnog diskriminativnog korijena; Can R – kanonički koeficijent korelacije; p – razina značajnosti; C – položaji centroida skupina)

	DF1
BrzKPoclzb ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	0,73
Vislzb (m)	0,13
VisKPoclzb (m)	0,04
ATT	-0,09
Can R	0,88
Wilks Lambda	0,22
P	0,00
	Root 1
C: Linearna	1,79
C: Rotacijska	-1,79

LEGENDA: Rezultat –, ATT - tjelesna masa, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, BrzKPoclzb - brzina kugle na početku izbačaja, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

Tablica 10 prikazuje rezultate diskriminativne kanoničke analize (Forward stepwise model), kojom su utvrđene razlike između dvije tehnike u setu primijenjenih antropometrijskih i kinematičkih varijabli. Potrebno je napomenuti kako u inicijalni model nije uvrštavana varijabla rezultat kako ne bi došlo do naginjanja diskriminativne funkcije prema toj varijabli, već se pokušalo objasniti isključivo razlike u primijenjenim kinematičkim i pratećim antropometrijskim varijablama. Temeljem parametara značajnosti jasno je kako se radi o statistički značajnim multivarijantnim razlikama. Ispitanici koji primjenjuju linearnu tehniku projicirani su na pozitivnom, a ispitanici koji primjenjuju rotacijsku tehniku na negativnom polu diskriminacijske funkcije. U značajni diskriminativni model uključene su četiri varijable i to: Brzina kugle u početku izbačaja, Visina izbačaja, Visina kugle u

početku izbačaja i Tjelesna masa. Međutim, temeljem projekcija varijabli na diskriminativnu funkciju može se kazati kako samo Brzina kugle na početku izbačaja doprinosi značajno diskriminiranju grupa. Prisjetimo se kako je ista varijabla bila statistički značajna i kod analize razlika T-testom. Kao što se moglo očekivati varijabla je „na strani“ ispitanika koji primjenjuju linearnu tehniku bacanja kugle. Drugim riječima brzina kugle na početku izbačaja bitno je veća kod linearne tehnike nego kod rotacijske tehnike. Ostale varijable imaju vrlo male projekcije na diskriminativnu funkciju pa ih kao takve nema potrebe interpretirati.

7.3. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle

U ovom poglavlju prikazat će se rezultati utjecaja pojedinih kinematičkih parametara na uspjeh u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih europskih atletičara. Shodno postavljenim parcijalnim ciljevima istraživanja, u ovom poglavlju prezentirati će se rezultati multivarijantnog utjecaja kinematičkih i antropometrijskih parametara kod ukupnog uzorka ispitanika, kod seniora i mlađih seniora, te kod poduzorka ispitanika koji bacaju linearnom i rotacijskom tehnikom bacanja kugle.

7.3.1. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod ukupnog uzorka ispitanika

Tablica 11

Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod ukupnog uzorka ispitanika

(Beta – standardizirani regresijski koeficijent; p – razina značajnosti; R – koeficijent multiple korelacije; Rsq – koeficijent determinacije)

	Beta	p
BrzKlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,65	0,00
Kutlzb($^{\circ}$)	0,53	0,00
Vislzb (m)	0,11	0,08
BrzKPoclzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-0,37	0,03
PrBrzKFIlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,44	0,05
R	0,98	
Rsq	0,97	
p	0,01	

LEGENDA: BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFIlzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPoclzb - Brzina kugle na početku izbačaja

U tablici 11 prikazana je regresijska analiza u kojoj su utvrđene povezanosti između antropometrijskih i kinematičkih prediktora s rezultatom u bacanju kugle na ukupnom uzorku ispitanika. Optimalan preidkotski skup dobiven stepwise regresijskom analizom definirao je ukupno pet varijabli od kojih su četiri bile značajno parcijalno povezane s kriterijem. Selektirana linearna kombinacija objasnila je 97% ukupne varijance kriterija (duljine hitca). Ukratko, varijable koje najviše doprinose rezultatu su: Brzina kugle u izbačaju i Kut izbačaja. S druge strane Brzina kugle u početnoj fazi izbačaja također značajno parcijalno utječe na kriterij ali obrnuto. Drugim riječima manji

numerički rezultat na ovoj varijabli određuje bolje postignuće u bacanju kugle. Na granici statističke značajnosti je i varijabla Prosječna brzina kugle u fazi izbačaja koja pozitivno utječe na rezultat. Jedina varijabla koja je zadržana u regresijskom modelu a nije parcijalno značajna je Visina izbačaja.

7.3.2. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – linearna tehnika

Stepwise regresijske analize primijenjene posebno za poduzorke bacača linearne (Tablica 9) a posebno na poduzorak bacača rotacione tehnike (Tablica 10) analizirale su utjecaj kinematičkih i morfoloških prediktora na rezultat u bacanju (kriterij). Analizama su se željela utvrditi moguće specifičnosti hijerarhije utjecaja prediktora kao i specifičnosti selekcije prediktora (temeljem stepwise regresijske procedure) kod linearne i rotacione tehnike.

Tablica 12

Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – linearna tehnika

(Beta – standardizirani regresijski koeficijent; p – razina značajnosti; R – koeficijent multiple korelacije; Rsq – koeficijent determinacije)

	Beta	p-level
PrBrzCTTIzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,06	0,01
VisKPoclzb (m)	-0,81	0,00
ATV (cm)	1,74	0,00
PrBrzKKliz($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,62	0,01
BrzKNajnT($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-0,24	0,05
ATT (kg)	-0,23	0,05
R	0,99	
Rsq	0,98	
p	0,01	

LEGENDA: ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna masa, BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, PrBrzKFIzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, PrBrzCTTIzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, BrzKNajn - brzina kugle u najnižoj točki (prema brzini najniža točka gdje počinje/kreće „punjenje kugle“), PrBrzKKliz - Prosječna brzina kugle u fazi klizanja kod linearne tehnike, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

U tablici 12 prikazani su rezultati multiple regresijske analize za predikciju rezultata u bacanju kugle kod atletičara koji primjenjuju linearnu tehniku bacanja. Model je značajan i opisuje velikih 98 % varijance kriterija i ukazuje kako su sve varijable koje su zadržane u modelu značajni prediktori postignuća u bacanju kugle linearnom tehnikom. Radi se o prosječnoj brzini centra težišta tijela u

izbačaju, visini kugle u početku izbačaja, tjelesnoj visini, prosječnoj brzini kugle u fazi klizanja, brzini kugle u najnižoj točki i tjelesnoj masi. Naravno neke od tih varijabli pozitivno doprinose rezultatu a neke su negativno povezane s konačnim rezultatom odnosno negativno parcijalno utječu na kriterij. Glavni pozitivni prediktor je tjelesna visina, a zanimljivo je da je visina kugle u početku izbačaja negativno povezana s rezultatom. Međutim rezultate regresijskih analiza treba razmatrati kroz latentni prostor, drugim riječima regresijski faktor bi trebalo interpretirati kao latentnu strukturu idealnog modela za postignuće.

7.3.3. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – rotacijska tehnika

Tablica 13

Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – rotacijska tehnika

(Beta – standardizirani regresijski koeficijent; p – razina značajnosti; R – koeficijent multiple korelacije; Rsq – koeficijent determinacije)

	Beta	P
PrBrzKFlzb($m \cdot s^{-1}$)	0,81	0,01
BrzKPoclzb($m \cdot s^{-1}$)	-0,27	0,06
Kutlzb($^{\circ}$)	0,26	0,04
BrzKlzb($m \cdot s^{-1}$)	0,19	0,05
VisKPoclzb (m)	0,19	0,09
Vislzb (m)	0,09	0,25
R	0,97	
Rsq	0,94	
p	0,01	

LEGENDA: ATV - tjelesna visina, ATT - tjelesna masa, BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFlzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPoclzb - Brzina kugle na početku izbačaja, PrBrzCTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, PrBrzKOk - Prosječna brzina kugle u okretu kod rotacijske tehnike, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

U tablici 13 prikazani su rezultati multiple regresijske analize za rotacijsku tehniku u kojoj su također vrijednosti multiple regresije praktički maksimalne i može se govoriti o potpunom objašnjenju kriterijske varijable odnosno rezultata. Idealni model bacača u rotacijskoj tehnici podrazumijevao bi bacače koji uspijevaju postići izraženu prosječnu brzinu kugle u fazi izbačaja, ne izraženu brzinu kugle u početnoj fazi izbačaja tj. malu brzinu kugle u početnoj fazi izbačaja. Zatim kut

izbačaja uspijevaju približiti kutu od 45°, te postižu veliku brzinu kugle u izbačaju i nemaju izraženu tjelesnu visinu.

7.3.4. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – seniori

Tablica 14

Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – seniori

(Beta – standardizirani regresijski koeficijent; p – razina značajnosti; R – koeficijent multiple korelacije; Rsq – koeficijent determinacije)

	Beta	p
BrzKlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	1,09	0,00
VisKPoclzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-0,21	0,01
PrBrzCTTlzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-0,13	0,06
BrzKPoclzb ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	-0,14	0,07
Vislzb (m)	0,10	0,11
R	0,99	
Rsq	0,98	
p	0,01	

LEGENDA: BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, BrzKPoclzb - Brzina kugle na početku izbačaja, PrBrzCTTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, BrzCTTlzb - brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja

U tablici 14 prikazani su rezultati regresijske analize samo za uzorak seniora. Prediktorski skup objasnio je 98% varijance rezultata kriterija. Od pet varijabli koje su zadržane u regresijskom modelu dvije su parcijalno povezane s kriterijem. Radi se o brzini kugle u izbačaju i visini kugle na početku izbačaja (faza maksimalnog naprežanja). Međutim i u ovom slučaju visina kugle na početku izbačaja ne bi smjela biti naglašena, a brzina kugle bi trebala biti naglašena jer su ove dvije varijable suprotno povezane temeljem predznaka beta pondera. Na granici su statističke značajnosti nalazi i vrijednost za varijablu brzina kugle na početku izbačaja kao i prosječna brzina centra težišta tijela, naime, obje varijable visokom numeričkom vrijednošću negativno utječu na rezultat.

7.3.5. Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – mlađi seniori

Tablica 15

Utjecaj kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost kod bacača kugle – mlađi seniori

(Beta – standardizirani regresijski koeficijent; p – razina značajnosti; R – koeficijent multiple korelacije; Rsq – koeficijent determinacije)

	Beta	p
PrBrzKFzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,22	0,51
BrzKlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,59	0,02
VisKPclzb (m)	-0,12	0,12
BrzKPclzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,40	0,15
BrzCTTlzb($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	0,11	0,16
R	0,99	
Rsq	0,98	
p	0,01	

LEGENDA: BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, PrBrzKFzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, BrzKPclzb - Brzina kugle na početku izbačaja, BrzCTTlzb - brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja, VisKPclzb - visina kugle na početku izbačaja

Tablica 15 prikazuje rezultate multiple regresijske analize za uzorak mlađih seniora, i u ovom slučaju radi se o velikom postotku objašnjene varijance. Na ovom uzorku samo je jedna varijabla dosegla statističku značajnost u smislu parcijalne povezanosti s kriterijem, a radi se o brzini kugle u izbačaju koja nedvojbeno pozitivno utječe na postignuće kod bacanja kugle u uzorku mlađih seniora.

7.4. Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara

Tablica 16

Rezultati regresijskog modela na validacijskom poduzorku ispitanika

(Intercept – odsječak na ordinati; Beta – standardizirani regresijski koeficijent; SE – standardna pogreška; B – nestandardizirani regresijski koeficijent; p – razina značajnosti; R – koeficijent multiple korelacije); Rsq – koeficijent determinacije)

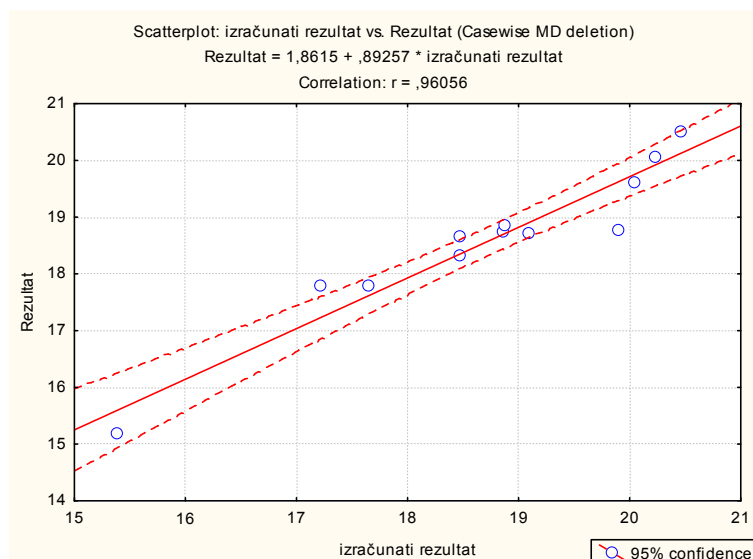
	Beta	SE Beta	B	SE B	p
Intercept			-41,17	4,98	0,00
BrzKlzb (ms^{-1})	0,92	0,07	2,12	0,16	0,00
Kutlzb ($^{\circ}$)	0,54	0,06	0,74	0,08	0,00
Vislzb (m)	0,18	0,07	2,82	1,05	0,03
R	0,98				
Rsq	0,97				
p	0,01				

LEGENDA: BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja,

U tablici 16 prikazani su rezultati regresijskog izračuna za validacijski uzorak ispitanika (polovica ispitanika odabrana slučajnim izborom). Rezultati regresijske jednadžbe ukazuju na visoki postotak objašnjene varijance (97%). U jednadžbu su uključene varijable brzina kugle u trenutku izbačaja (BrzKlzb), kut izbačaja (Kutlzb) i visina izbačaja (Vislzb). Regresijska jednadžba jest:

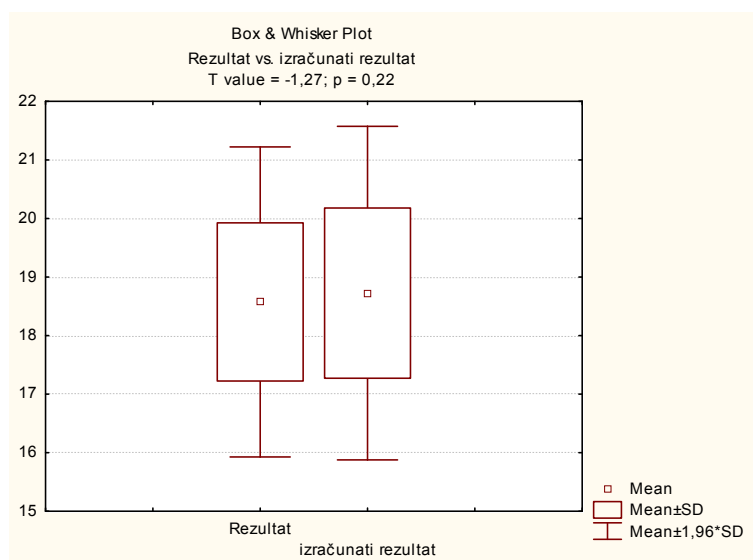
$$\text{Rezultat} = -41,17 + 2,12 * \text{BrzKlzb} + 0,74 * \text{Kutlzb} + 2,82 * \text{Vislzb}$$

Ova regresijska jednadžba primijenjena je na drugom poduzorku (kros-validacijski poduzorak), te su temeljem nje izračunati očekivani rezultati za kros-validacijski poduzorak ispitanika.



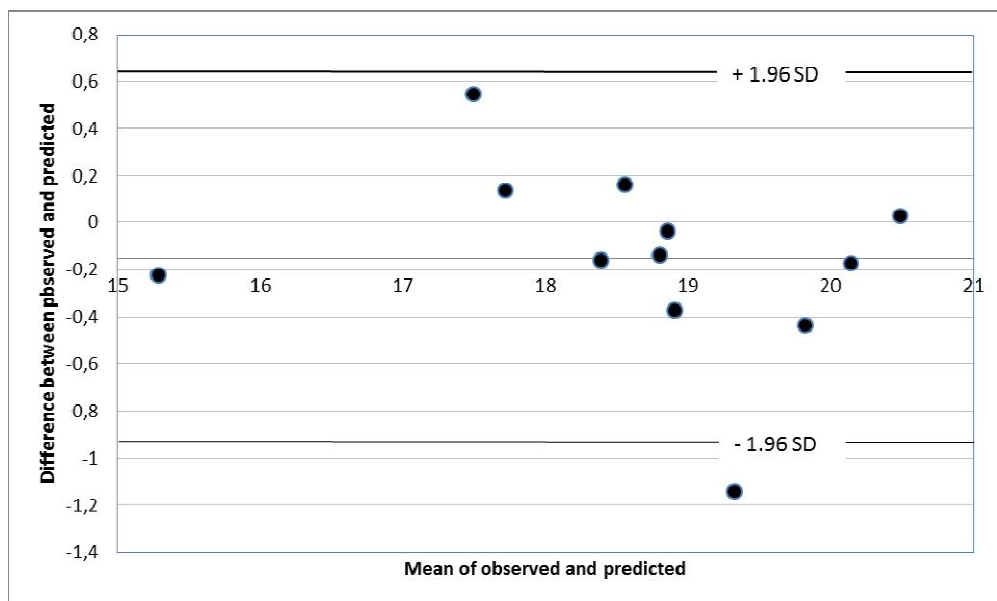
Slika 8. Korelacija izračunatog i ostvarenog rezultata za kros-validacijski poduzorak ispitanika - ispitanici koji nisu uključeni u kalkulaciju regresijskog modela

U slici 8 prikazana je korelacija izračunatih i ostvarenih (postignutih) rezultata u bacanju kugle za kros-validacijski poduzorak ispitanika. Kao što je vidljivo dobiven je koeficijent korelacije od 0,96 što je gotovo identično koeficijentu koji je dobiven u validacijskom uzorku (0,98).



Slika 9. T test za izračunate i ostvarene rezultate kros-validacijskog uzorka ispitanika

U slici 9 prikazani su rezultati t-testa za zavisne uzorke između izračunatih i ostvarenih rezultata za kros-validacijski poduzorak. Nisu utvrđene značajne razlike između ostvarenog i izračunatog rezultata (T test = -1,27; p = 0,22).



Slika 10 Bland Altman grafički prikaz odnosa izračunatog i ostvarenog rezultata za kros validacijski poduzorak ispitanika

Bland Altman grafika ukazuje na visoku razinu slaganja izračunatih (*predicted*) i ostvarenih (*observed*) rezultata kod kros validacijskog poduzorka. Jedanaest od ukupno dvanaest ispitanika nalazi se unutar $\pm 1,96$ SD varijable razlika što ukazuje na izvrsno slaganje modela sa stvarnim rezultatom.

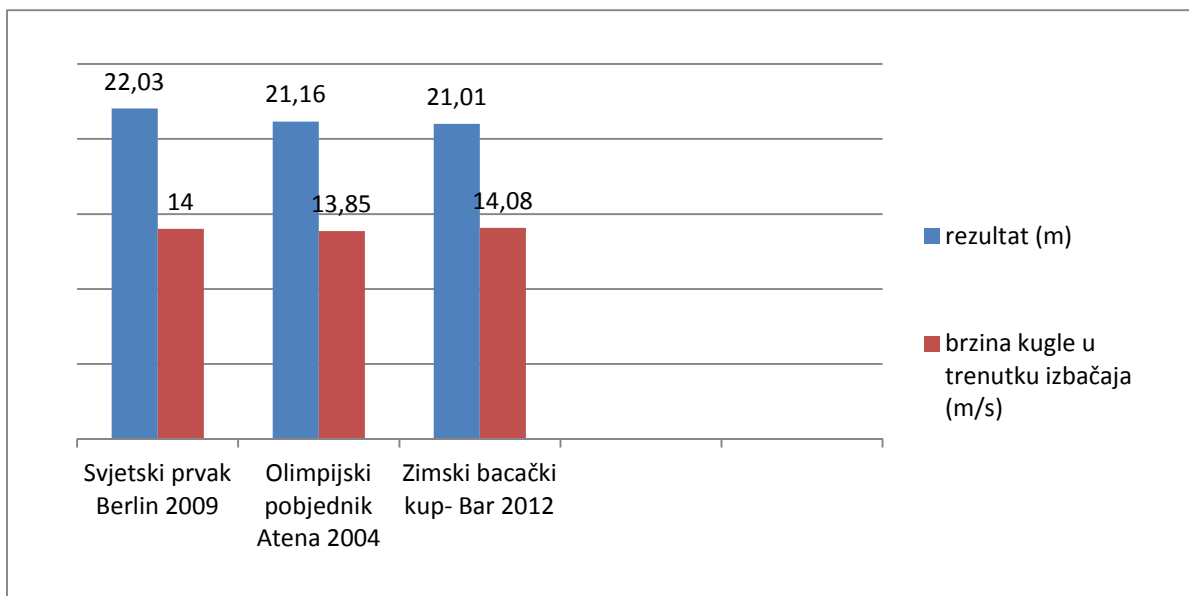
8. RASPRAVA

Rezultati ove disertacije diskutirat će se preko tematskih cjelina prikazanih kroz sljedeće podnaslove:

- Analiza deskriptivnih statističkih parametara,
- Razlike između linearne i rotacijske tehnike u kinematičkim parametrima,
- Utjecaj kinematičkih i antropometrijskih pokazatelja na rezultatsku uspješnost u bacanju kugle (ukupan uzorak ispitanika),
- Razlike u kinematičkim parametrima na duljinu hitca između dva poduzorka bacača kugle (univarijatne i multivarijatne),
- Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara.

8.1. Analiza deskriptivnih statističkih parametara

Prema podacima iz istraživanja Younga (2005) provedenog na vrhunskim bacačima kugle raspon visina izbačaja kreće se od 2,2 do 2,3 m s kutom izbačaja od 31 do 36° (Young, 2005). Ariel i sur. (2004) proveli su istraživanje na finalistima *Olimpijskih igara* u Ateni. Kod olimpijskog pobjednika utvrđuju vrijednosti za kinematičke parametre i to za brzinu izbačaja 13,85 m/s, kut izbačaja 33° i visinu izbačaja 2,55m. Brzina kugle u trenutku izbačaja dobivena na ukupnom uzorku ispitanika ove disertacije u prosjeku je iznosila 13,14 m/s. Raspon rezultata u ovoj varijabli kretao se od 11,71 m/s do 14,38 m/s. Rezultati brzine kugle evidentirani u ovom radu su u okvirima vrijednosti rezultata utvrđenih u ranijim istraživanjima (Linthorne, 2001, Čoh, 2005, Young, 2005, Aleksić-Veljković, 2011). Nadalje, u ovoj disertaciji, što je čest slučaj i u ranijim istraživanjima, kod bacača s najduljim hitcem evidentira i jednu od najvećih brzina izbačaja. Najveću brzinu izbačaja kod analiziranog uzorka ima pobjednik *Zimskog bacačkog kupa* u kategoriji mlađih seniora 14,38 m/s. Međutim kada se rezultati brzine kugle u trenutku izbačaja i duljine hitca (postignutog rezultata) navedenog najuspješnijeg bacača u ovoj disertaciji usporede s istim rezultatima ranije evidentiranim kod pobjednika *Olimpijskih igara* odnosno svjetskog prvenstva uočljive su neke nedosljednosti, koje je autor ove disertacije zorno prikazao na grafu 1.



Graf 2. prikaz rezultata i vrijednosti brzine kugle u trenutku izbačaja za vrhunske bacače kugle

Grafički prikaz 2 prikazuje postignuti rezultata i brzinu kugle na početku izbačaja kod vrhunskih bacača kugle osvajača olimpijskih, svjetskih i europskih natjecanja.

Naknadnom analizom te usporedbom između tri vrhunska bacača kugle najveća brzina izbačaja 14,08 m/s zabilježena je kod pobjednika *Zimskog bacačkog kupa* (neslužbeno europsko prvenstvo), odnosno bacača s najlošijim rezultatom (duljina hitca) od tri analizirana bacača. S druge strane, jedan od najboljih bacača današnjice (pobjednik *Olimpijskih igara* u Ateni 2004.g) ostvario je bitno veću duljinu hitca s nižom vrijednosti maksimalne brzine kugle u trenutku izbačaja koja je iznosila 13,85 m/s. Pobjednik svjetskog prvenstva imao najduži hitac od tri analizirana bacača (22,03 m) i drugu vrijednost brzine u trenutku izbačaja (14 m/s). Stoga, brzina izbačaja nije uvijek povezana sa rezultatom, pogotovo tada kada nije izbačajni kut adekvatan – optimalan, takmičar može ostvariti maksimalnu brzinu izbačaja ali nije „pogodio“ pravi kut. Autori navode kako su od presudnog značaja za uspješnost bacanja kugle upravo brzine izbačaja (Linthorne, 2001, Čoh, 2005, Aleksić-Veljković, 2011). Međutim bitno je naglasiti kako u citiranim istraživanjima nije precizirano na koji način se uzimala brzina kugle u trenutku izbačaja. Tako da nije jasno je li se brzina kugle očitavala s zapešća ruke kojom se baca kugla ili se brzina kugle dobiva iz posljednjeg kontakta šake tj. prstiju u trenutku izbačaja, što u konačnici može kompromitirati usporedbu rezultata. Prilikom digitalizacije 14 referentnih točki na tijelu što je standardni protokol za izračun brzine kugle u trenutku izbačaja, najčešće se uzima vrijednost brzine zapešća ruke kojom se baca. Međutim kako bi se umanjila pogreška mjerenja u ovoj disertaciji digitalizirana je atletska sprava, te za vrijednost brzine kugle u trenutku izbačaja uzet je zadnji kontakt kugle s šakom ili prstima. Stoga je vrlo vjerojatno da se numerički nešto veće vrijednosti brzine kugle u trenutku izbačaja zabilježene u ovoj disertaciji u

odnosu na ranija istraživanja jednim djelom mogu objasniti navedenom specifičnošću protokola mjerenja. Pored analize brzine kugle u trenutku izbačaja autori istražuju i utjecaj drugih biomehaničkih parametara na duljine hitca paralelno analizirajući visine i kut izbačaja kugle. Tako je Bartonietz (1995) utvrdio kako bacači gotovo istih antropometrijskih mjera (jednako visoki) mogu postići čak iste rezultate u dometu a da se pri tom razlikuju po kutu izbačaja kugle (Bartonietz, 1995). Linthorn je (2001) utvrdio kako početna brzina kugle u trenutku izbačaja opada s povećanjem kuta izbačaja i visine izbačaja, te kako svaki bacač ima kut koji preferira ovisno o mogućnostima u kojima kuglu može maksimalno ubrzati. Navedena spoznaja potvrđena je i u ovoj disertaciji i to kod bacača koji imaju lošiji rezultat od prosjeka. Tako je mlađi senior s rezultatom 15,17 m imao je sljedeće vrijednosti parametra izbačaja; brzina izbačaja 11,71 m/s, kut izbačaj 34,20 i visina izbačaja 2,24 m. Lanka (2000) smatra kako je brzina izbačaja faktor koji se može značajnije promijeniti trenažnim procesom kao i kut izbačaja. Nasuprot navedenima faktorima isti autor visinu izbačaja smatra relativno konstantnom veličinom na koju se jako malo može utjecati treningom i vidi je kao isključivo problem selekcije. S druge strane Sochaa i suradnici (2011), navode Hoffa pobjednika na svjetskom prvenstvu u Berlinu 2009. g. s tjelesnom visinom od svega 182 cm, što ga čini najvjerojatnije i najnižim svjetskim prvakom u povijesti. Drugoplasirani Nelson koji je visok 183 cm i Mikhnevich kao trećeplasirani sa 201 cm koji baca linearnom tehnikom govori o tome koliko rotacijska tehnika daje prednost nižim bacačima. Nezanemariva je tehnička izvedba koju imaju Hoffa i Nelson koja je i velikim dijelom ključ njihovog uspjeha.

U kontekstu dobivenih rezultata sličnim onim dosadašnjim svakako se može postaviti pitanje originalnosti provedenog istraživanja koju treba tražiti u sljedećem:

1. Analiziran je vrhunski uzorak ispitanika
2. Svi ispitanici na natjecanju na kojem su snimani došli su u vrhunskoj formi.

- Analiziran je vrhunski uzorak ispitanika

Pregledom literature uočljivo je kako je većina biomehaničkih istraživanja usmjerena na bacanje kugle provođena na raspoloživim ispitanicima (studenti, učenici, bacači kadetskog i juniorskog uzrasta). Rijetka istraživanja rađena su na vrhunskim bacačima (Čoh, 2005, Young, 2005, Ariel, 2004, Harasin 2008, Sochaa 2010) prepoznatljiva su po tom što su ponudila:

- 1) analizu malog broja biomehaničkih varijabli na relativno velikom uzorku ispitanika
- 2) analizu više varijabli na jednom ili dva ispitanika (case study).

Stoga ostaje otvoreno pitanje usporedbe većeg broja parametara na većem uzorku vrhunskih sportaša. Nadalje, istraživanja do sada nisu se bavila usporedbom jedne šire varijance biomehaničkih bacačkih varijabli što bi se omogućilo proširivanjem uzorka i na vrhunske mlađe

seniore (do 23. godine). Naime, zbog specifične dinamike razvoja rezultata bacanja kugle (vrhunski rezultati se postižu između 26. i 30. godine), a shodno tome i biomehaničkih kvaliteta u pozadini tih rezultata, uključivanjem vrhunskih mlađih seniora dobio bi se jedan potpuniji uvid u biomehaničke osobitosti hitaca na vrhunskoj razini natjecanja. Natjecanje na kojem je ovo istraživanje provedeno jedino je natjecanje na kojem se istovremeno (dakle, u istim uvjetima natjecanja) mogu analizirati vrhunski natjecatelji različitih dobnih skupina.

Tablica 17 Parametri izbačaja kugle najbolja tri mlađa seniora

	rezultat	brzina	visina	kut
Marin Premeru	19,49	14,38	2,01	33°30'
Georgios Aresti	19,17	13,3	2,14	34°30'
Paolo dal Soglio	18,84	13,26	2,18	34°50'

U tablici 17 prikazani su parametri izbačaja za tri najbolja mlađa seniora. Analizirajući rezultate možemo uvidjeti da parametri izbačaja koje postižu najbolja tri mlađa seniora ne odstupaju od vrijednosti koje su potvrđene u dosadašnjim istraživanjima (Linthorne, 2001, Čoh, 2005, Aleksić-Veljković, 2011). Stoga, potvrđujemo vrijednost istraživanja kako je analiziran vrhunski uzorak kod seniora i mlađih seniora, te mogućnost snimanja elitnog uzorka u istim uvjetima natjecanja.

- Svi ispitanici na natjecanju na kojem su snimani došli su u trenutno vrhunskoj formi

Istraživanje je provedeno na *Europskom zimskom bacačkom kupu/Cup Winter Throwing* koje se održalo 18. i 19. ožuljka. 2012. godine u Baru u Crnoj Gori. Natjecanje je održano u olimpijskoj godini kada su bacači u pravilu na vrhuncu četverogodišnjeg ciklusa priprema i prvo je natjecanje otvorenog tipa s mogućnosti ispunjavanja norme za *Olimpijske igre*. Uvid u rezultate koji su postignuti na ovom natjecanju, a osobito u rezultate mlađih seniora opravdava navedenu tezu o visokoj razinu pripremljenosti bacača. Za sam kup može se nadodati i kako je to najveće natjecanje za bacače poslije zatvorenih natjecanja na ovom području. U prilog vrhunskoj formi tretiranog uzorka idu i kinematički parametri izbačaja i vrijednosti rezultata koji numerički ne odstupaju značajnije od dosadašnjih rezultata (Čoh, 2005, Young, 2005, Ariel, 2004, Harasin, 2008, Sochaa, 2010) evidentiranih za vrijeme velikih natjecanja kao što su *Olimpijske igre*.

8.2. Razlike između linearne i rotacijske tehnike u kinematičkim parametrima

Temeljem dosadašnjih istraživanja ne može se precizno utvrditi koji su to kinematički parametri najbitniji za razlikovanje linearne i rotacijske tehnike bacanja kugle. Naime, o eventualnim specifičnostima dviju tehnika može se prosuđivati tek usporedbom podataka prikupljenih u različitim istraživanjima (Zatsiorsky i sur., 1981, Gutierkrež-Davila, 2009). Tako su kinematički parametri evidentirani na natjecanjima različitog ranga, natjecanjima različite važnosti, različitim kvalitetama bacališta, vremenskim prilikama tijekom testiranja; što u svakom slučaju može kompromitirati zaključke usporedbe. Također i kako je već istaknuto postupci za dijagnostiku pojedinih parametara tehnike bacanje kugle (primjerice brzina u trenutku izbačaja) nisu precizno definirani pa se može dogoditi da je pojedini parametar bolji isključivo zbog primijene mjerne procedure. Vidljivo je i kako u ovim rijetkim istraživanjima nije korištena univerzalna baterija kinematičkih parametara, pa je tek jedan dio kinematičkih pokazatelja nominalno usporediv.

S druge strane rijetka su istraživanja koja su istodobno analizirala sličnosti i razlike kinematičkih pokazatelje rotacijske i linearne tehnike (Bayun, 2008, Gutierkrež-Davila, 2009, Schaa, 2010). Međutim i ta istraživanja prema mišljenju autora ove disertacije nisu u potpunosti objasnila problematiku specifičnosti, odnosno podudarnosti tehnika bacanja. Takođe strana istraživanja nisu utvrdila velikih razlika između rotacijske i linearne tehnike. Primjerice Gutierkrež-Davila (2009) u donošenju zaključaka podudarnostima odnosno specifičnostima pojedinih kinematičkih parametara elemenata tehnike klznog i rotacionog načina (faze: pripreme, tranzicije, leta, izbačaja) izostavlja numeričke podatke (autor nisu kvantificirali te pokazatelje). Naime autor isključivo (vizualno) uspoređujući grafove odnosno krivulje dinamike pojedinih kinematičkih pokazatelja bacača koji su bacali jednom odnosno drugom tehnikom. Donosi zaključke analizirajući 10 grafova odnosno 10 bacača od kojih je 6 bacalo rotacijskom te 4 linearnom tehnikom te uspoređuje trajaktori kugle u pojedinim fazama. Tako za obje tehnike utvrđuje kako se: 1. većina akceleracijskog ubrzanja događa u fazi izbačaja, 2. pad brzine pojavljuje se tokom faze leta i tranzicijske faze.

Autor navodi i neke specifičnosti pojedinih tehnika koje kako je napomenuto ne kvantificira. Primjerice veći pad brzine (specifično za fazu leta i tranzicijske fazu) evidentira kod bacača koji koriste rotacionu tehniku. Nadalje za rotacijsku tehniku uočava dva ili više vrhunca ubrzanja kugle prije faze leta, a kod klizne samo jedan vrhunac koji se očituje preko odguravanja desne noge i zamahom lijeve noge tj. u fazi izbačaja (maksimalnog naprezanja).

Ovom doktorskom disertacijom od ukupno 11 kinematičkih parametara i dvije morfološke mjere, značajne razlike između dvije tehnike bacanja su utvrđene kod 3 kinematička parametra i to brzina kugle u početnoj fazi izbačaja, brzina kugle u najnižoj točki i vrijeme trajanja tehnike. S obzirom kako nisu utvrđene značajne razlike u uspješnosti ova dva hica onda se ne može govoriti o

superiornosti pojedine tehnike nego samo o specifičnosti. Također ne postoje razlike u visini i težini bacača koji su koristili dvije različite tehnike, te bi se na prvi pogled moglo zaključiti kako tehnike nisu morfološki determinirane u smislu da primjerice, viši ili teži bacači bacaju jednom, a oni niži ili lakši drugom tehnikom. Ipak ovaj zaključak treba uzeti s rezervom jer se može uočiti kako je preferencija za pojedinu tehniku moguće promatrati u geografskom kontekstu (primjerice Rusi i istočni blok bacaju kliznom dok Amerikanci i Europljani rotacionom)

Fokusirajući se ponovno na kinematičke parametre kako je već gore navedeno brzina kugle koju bacač donese u fazu maksimalnog naprezanja bila je znatno veća (2,60 m/s) kod bacača koji su bacali linearnom tehnikom. Naime logično je ako bacač „donese“ veću brzinu kugle u fazu maksimalnog naprezanja ostvaruje se preduvjet za veće ubrzanje kroz fazu izbačaja, odnosno veću brzinu kugle u trenutku izbačaja. Međutim, s druge strane usprkos ranije evidentiranom (Čoh, 2005, Harasin, 2008) smanjenju brzine kugle kod faze leta rotacijske tehnike, kod iste se pokazalo kako se ovaj pad brzine kompenzira se kretanjem tijela prema naprijed što u konačnici omogućuje bacačima djelovanje na spravu na duljem putu (Čoh, 2005). Upravo ovim doktorskim radom može se indirektno afirmirati ovo djelovanje na spravu na duljem putu. Kod rotacijske tehnike je ukazano kako je izvedba tehnike mjerena u sekundama u prosjeku 14% veća od linearne tehnike. Stoga rotacijska tehnika nije limitirana te omogućuje vrhunske rezultate i kod nižih bacača poput svjetskih prvaka Hoffa, Cantwell ili europskog prvaka Kolašinaca.

8.3. Utjecaj kinematičkih i antropometrijskih pokazatelja na rezultatsku uspješnost bacanju kugle (ukupan uzorak ispitanika)

Kako je već ranije istaknuto istraživači usporedbom kinematičkih grafova uspješnijih od onih manje uspješnih bacača natjecatelja primarno donose zaključak o važnosti pojedinih kinematičkih kvaliteta na duljinu hitca. S tim u vezi autori potenciraju one kinematičke kvalitete kod kojih uočavaju najizraženije razlike u dinamici razvoja između navedenih kategorija bacača (Ariel, 2004, Bayun, 2008). S druge strane rijetki su podatci o razini utjecaja nekog kinematičkog pokazatelja na rezultatsku uspješnost. Tako gore citirani Buyun i sur. uz spomenute analize grafova na koje primarno fokusiraju svoj rad navode i značajan koeficijent korelacije $r=0,87$ ($r^2= 75,69\%$) dobiven između službenog rezultata na natjecanju i brzine hitca pri izbačaja. Samo istraživanje provedeno je na 10 vrhunskih bacača od kojih je 6 bacalo rotacionom a 4 kliznom tehnikom. Bacači su bili 10 najbolje plasiranih na *Atletskom svjetskom prvenstvu* u Osaki 2007. godine.

Drugo istraživanje u kojem je također kvantificirana kinematička determiniranost duljine hitca provodi Schaa 2010. Autor u istraživanju analizira rezultate 8 najboljih natjecatelja sa *Atletskog svjetskog prvenstva* u Berlinu 2009. U početnoj fazi istraživanja uočljiva je tendencija autora da afirmira hipotezu o presudnoj važnosti brzine izbačaja za duljinu hitca (rezultata). Međutim, u ovom je otežavajuća i nepremostiva okolnost bila činjenica, što su jednaku brzinu izbačaja ostvarili bacači s 1., 3., i 4. duljinom hitca. Nadalje, najveću brzinu izbačaja imao je bacač koji je zauzeo tek peto mjesto na natjecanju. Stoga autor primjenjuje multivarijantnu regresijsku analizu s dvije prediktorske varijable i to brzine izbačaja i kuta izbačaja. Rezultati navedene analize ukazali su na značajan utjecaj prediktora na duljinu hitca (kriterij), tako da je navedeni prediktorski set varijabli objasnio 82% varijance kriterija. Formirani regresijski model glasio je: $\text{duljina hitca} = 2,158 \times \text{brzina izbačaja} + 0,174 \times \text{kut izbačaja} - 14,842$.

Međutim uočljivi su i nedostatci ovako formiranog regresijskog modela u smislu regrutiranja samog uzorka entiteta. Naime za razliku od istraživanja ove doktorske disertacije u kojoj broj ispitanika ne kompromitira regresijsko analiziranje ($N=24$), u ranijem istraživanju je evidentan jako mali broj ispitanika ($N=8$). Stoga, Schaa u uzorak entiteta ne ubraja bacače nego, sve ispravne natjecateljske hitce 8 bacača (ukupno 35 pokušaja od mogućih 48). Ovakav način regrutacije entiteta prema mišljenju autora ove disertacije može činiti regresijsku jednadžbu neobjektivnom (uspješnijom). Ukratko, analizom rada uočljivo je kako su bacači neravnomjerno pridonijeli formiranju entiteta. Razlog je taj, što su pojedinci sudjelovali sa svega jednim ili dva hitca, dok drugi pak s maksimalnim brojem hitaca (6 hitaca). Primjerice, gore navedeni bacač s ostvarenim 5. mjestom na natjecanju i najvećom brzinom izbačaja sudjelovao je sa svega dva hitca, što je regresijsku jednadžbu

vjerojatno učinilo uspješnijom. Stoga je umanjen utjecaj onih entiteta kod kojih su velike brzine izbačaja polučile lošije rezultate duljine hitca.

S druge strane kako je već istaknuto entitete u ovoj disertaciji su predstavljali bacači preko svojih najuspješnijih izvedbi odnosno po 12 bacača linearne i 12 bacača rotacijske tehnike. U usporedbi s ranijim radom Schaa, u disertaciji je primjenom Step wise regresijske analize definiran veći prediktorski skup od 5 varijabli. Nadalje, prediktorskim skupom objašnjeno je 12% više varijance kriterija duljine hitca (97% u odnosu na 85%) u odnosu na raniji rad.

Temeljem regresijskog modela ove disertaciji može se zaključiti, kako su uspješni bacači bili oni koji su ostvarili veću brzinu kugle u trenutku izbačaja (BrzKlzb) istodobno s većim kutom izbačaja (Kutlz) i nižom početnom brzinom kugle na početku izbačaja (BrzKPoclz). Na temelju ranijih istraživanja (Bayun, 2008, Schaa, 2010) koji su analizirani u prethodnom tekstu može se govoriti o očekivanim utjecajima brzine kugle u trenutku izbačaja i kuta izbačaja na rezultatsku uspješnost. U prilog rezultata dobivenih u ovoj disertaciji idu i teze brojnih autora (Zatsiorsky i sur., 1981, Bartonietz, 1994, Luthanen i sur., 1997, Lanka, 2000, Čoh, 2005), kojima su brzina izbačaja i kut izbačaja označene kao kinematičke kvalitete od iznimne važnosti za duljinu hitca kugle. S druge strane, značajan negativni parcijalni utjecaja „brzine kugle na početku izbačaja“ (BrzKlzb) na kriterij ne može se afirmirati u kontekstu prijašnjih rezultata. Međutim, njegovu značajnost i negativan predznak vjerojatno je potrebno promatrati u kontekstu uzorka na kojem je dobiven, dakle ukupnog uzorka ispitanika, kojeg su činili bacači obje tehnike. Naime regresijske jednadžbe linearne i rotacione tehnike ukazale su na znatno različite vrijednosti parcijalnih utjecaja “ BrzKPoclz” na duljinu hitca. Tako je između BrzKPoclz i duljine hitca kod rotacione tehnike dobivena značajna negativna parcijalna korelacija (tablica 13). To je moglo biti od presudne važnosti za njenu značajnost i predznak na ukupnom uzorku, jer je kod linearne tehnike u prediktorskom skupu izostala selekcija BrzKPoclz (tablica 14).

8.4. Razlike u kinematičkim parametrima na duljinu hitca između dva subuzorka bacača kugle (univarijatne i multivarijatne)

Za razliku od drugih atletskih disciplina (primjerice sprinta) bacači kugle svoje najbolje rezultate nerijetko postižu i u četvrtom desetljeću života. Primjerice prema podacima Schaa (2010) prosječna dob 8 najboljih bacača s *Atletskog svjetskog prvenstva* 2009. iznosila je 30,4 \pm 2,5 godina (raspon dobi od 27 god. do 34 god.). U ovom kontekstu može se promatrati i podjela vrhunskih bacača od strane *Međunarodne atletske federacije* na seniore (+23 god) i mlađe seniore (do 23 godina), gdje kako je već navedeno vrlo rijetko ostvaruju najbolje rezultate, odnosno osvajaju olimpijska ili svjetska odličja. Stoga se pod pokroviteljstvom *Međunarodne atletske federacije* posebno organiziraju natjecanja za mlađe seniore. Za bolje razumijevanje pozadine ove podjele poslužit će i podatak o relativno kasnoj specijalizaciji sportaša za disciplinu bacanja kugle od 17-19 godine života (Bompa, 2000).

U vezi s tim važno je istaknuti i kako se neke motoričke sposobnosti relevantne za uspješnost u bacanju poput primjerice, jakosti (Milanović, 1986) mogu razvijati i održavati i u kasnijoj životnoj dobi (deterioriraju kasnije u kontekstu životnog vijeka čovjeka). Stoga, postoje opravdani razlozi za razlikovanja motoričkog modela bacanja mlađih seniora i seniora kako, po pitanju različitih doprinosa određenih sposobnosti, tako i po pitanju drugačije tipologije ključne muskulature. U prilog tome Siff (2003) navodi kako se s razvojem sportaša, ključna aktivnost za kretnu strukturu može transferirati s jedne grupe mišića na drugu. Isti autor prezentira rezultate istraživanja provedenog upravo na bacačima kugle (Verkhooshansky, 1977), koju su ukazali kako s razvojem bacača kugle ključna uloga prelazi s muskulature nogu na muskulaturu ramenog pojasa. Temeljem svega navedenog neupitno je očekivati i razlike u kinematičkim pokazateljima bacača kugle poduzorka analiziranih ovom disertacijom. Univarijatna analiza varijance za nezavisne uzorke ukazala je kod seniora u odnosu na mlađe seniore značajno veće vrijednosti za tri kinematička parametra i to za: duljinu hitca ($19,44 \pm 0,80\text{m}$ u odnosu na $17,790 \pm 1,33\text{m}$), veći kut izbačaja ($35,35 \pm 0,43$ u odnosu na $34,16 \pm 1,51$), kao i prosječnu brzinu kugle u fazi izbačaja ($7,87\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ u odnosu na $7,37\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). Superiornije vrijednosti seniora u varijablama duljina hitca i veći kut izbačaja očekivane su s obzirom na ranija istraživanja (Zatsiorsky i sur., 1981, Luthanen i sur., 1997, Lanka, 2000,) i mogu se pripisati njihovim ostvarenim ukupnim potencijalima.

Nadalje, istodobna dominacija u ove divije varijable može se sagledati i u kontekstu istraživanja (Lanka, 2000) koje je evidentiralo brzinu izbačaja, kao kinematičku varijablu koja, najviše korelira s dužinom izbačaja. Veći kut izbačaja kod seniora najvjerojatnije može se promatrati u kontekstu tehničke superiornosti ovog subuzorka. Naime, kut izbačaja evidentiran kod ovog subzorka

bio je značajno bliži vrijednosti optimalnog hipotetskog kuta izbačaja (dakle kutu ostvarivom kod idealne tehnike). Iako do sada ova problematika nije diskutirana autor ove doktorske disertacije je uvjeren, kako mogući razlog nižeg kuta izbačaja kod mlađih seniora može biti drugačija anatomija bacanja kod neiskusnijih bacača (već ranije evidentirana). Međutim, uzrok može biti u manjoj prostornoj koordinaciji, manjoj ekstenziji prednje noge - katapult, preko koje bacamo kuglu. Mladi bacači imaju veće variranje izbačajnog kuta nego seniori. Naime, neiskusniji bacači primarno aktiviraju muskulaturu ramenog pojasa. Posljedica ovakve anatomije bacanja je to da njihov hitac ne može imati izraženu vertikalnu komponentu kao seniorski uzorak koji se pri bacanju dominantno služi muskulaturom nogu.

S druge strane, kod mlađih seniora evidentiran je značajno veći rezultat u brzini centra težišta tijela u trenutku izbačaja, što se također može pripisati lošijoj tehnici bacanja ovog subuzorka. Naime, idealna brzina težišta u trenutku izbačaja trebala bi biti bliska nultim vrijednostima.

8.4.1. Specifičnost utjecaja kinematičkih i antropometrijskih pokazatelja na duljinu hitca kod bacača kugle mlađih seniora i seniora

Sukladno razlozima potrebe analize razlika kinematičkih pokazatelja dva analizirana uzorka u ranijem prezentiranim (za detalje pogledati - Razlike u kinematičkim parametrima na duljinu hitca između dva subuzorka uzorka bacača kugle) autor ove disertacije našao je potrebno analizirati i moguću specifičnost utjecaja kinematičkih parametrima na duljinu hitca dva subuzorka.

Ukratko različitu hijerarhiju prediktora uspjeha dva subuzorka opravdano je pretpostaviti zbog ranije diskutiranih razloga i to primarno:

1. kasne specijalizaciji bacača kugle (Bompa, 2000) koja podrazumijeva i „nesavršeniju tehniku mlađih senior“
2. transferu ključne muskulature s jedne skupine mišića na druge pod utjecaje razvoja sportaša (Siff 2003).

Pregledom literature uočeno je kako ne postoje radovi koji su se bavili tematikom drugačije determiniranosti rezultatskog uspjeha mlađih seniora i seniora antropometrijsko-kinematičkim pokazateljima. Analizirajući tablicu 11 i tablicu 12 u kojoj su prikazani rezultati regresijske analize za oba subuzorka možemo uvidjeti podjednaku uspješnost prediktorskih skupova u objašnjenju varijance kriterija (rezultata).

Drugim riječima kinematički pokazatelji na oba subuzorka mogu se smatrati važnim faktorima. Nadalje, varijabla Brzina kugle u trenutku izbačaja izdvojena je kao parcijalna varijabla koja, značajno najviše utječe na rezultat kod oba subuzorka. Ovaj rezultat sukladan je zaključcima ranijih istraživanja

(Linthorne, 2001, Young, 2003, Čoh, 2005), koja su brzinu kugle u trenutku izbačaja izdvojila kao najvažniji faktor koji utječe na duljinu hitca. S druge pak strane uočljive su i razlike između subuzorka. Konkretno, visina kugle na početku izbačaja (VisKPoclzb) izvodila se kao varijabla koja je na seniorskom uzorku imala značajni negativni parcijalni utjecaj na rezultat. Parcijalni utjecaj VisKPoclzb nije bio značajan na uzorku mlađih seniora .

8.5. Regresijsko modeliranje uspjeha u disciplini bacanja kugle kod vrhunskih atletičara

Regresijsko modeliranje do nedavno se rijetko koristilo u kineziološkim istraživanjima. Ova procedura ustvari podrazumijeva izračunavanje regresijskog modela za jedan subuzorak ispitanika, te potom primjenu izračunatog regresijskog modela na drugom poduzorku ispitanika. Naravno, osnovna pretpostavka je da se u prvom subuzorku na kojem se model originalno izračunava postigne zadovoljavajuća razina statističke značajnosti primijenjenih regresijskih koeficijenata. Ova procedura, kao što je već rečeno nije često primjenjivana u kineziološkim istraživanjima, a osnovni razlozi su slijedeći. Prvo, za adekvatnu primjenu potrebno je imati dovoljno veliki uzorak ispitanika koji se u pravilu slučajnim odabirom dijeli na dva poduzorka, to jest na takozvani validacijski i kros-validacijski subuzorak ispitanika. Drugo, oba poduzorka trebaju biti podjednaka u kvaliteti, ali i u postignuću u kriterijskoj varijabli. Treće, originalna regresijska povezanost treba biti vrlo visoka, a kako bi se uopće moglo očekivati da regresijski model bude vrjednovan. Konačno, ne manje važno jest činjenica da još uvijek ne postoji statistički program koji omogućava da se regresijsko modeliranje provede „automatski“. Točnije, provjera regresijskog modela radi se „ručno“, tako da se dobivena regresijska jednadžba unosi u statistički program, temeljem toga se izračunava očekivane rezultate za cross-validacijski subuzorak, koji se potom koreliraju sa rezultatima koje su ispitanici postigli na analiziranom kriteriju. Ovo sve zajedno komplicira postupak. Osim toga jasno je kako se primjenom prigodnih uzoraka ispitanika ne može ostvariti uvjete za regresijsko modeliranje. S druge strane, relativno je teško prikupiti dovoljno veliki uzorak selektiranih ispitanika koji će zadovoljiti prije rečene uvjete. Ipak, regresijsko modeliranje u posljednje se vrijeme sve češće primjenjuje u kineziologiji i srodnim znanostima. Prvenstveno se radi o činjenici da se bez provjere regresijskog modela može dobiti potpuno krive podatke, koji ne govore o stvarnoj prirodi povezanosti između prediktora i kriterija. Ovo je potvrđeno u nizu radova koji su se ovim problemom bavili u posljednje vrijeme (Esco, 2012, Green, 2013, Spasić, 2013).

U ovom istraživanju bilo je moguće primijeniti regresijsko modeliranje jer su: (a) originalne regresijske povezanosti prediktora i kriterija na ukupnom uzorku bile vrlo visoke i (b) jer je analiziran visoko selektirani uzorak ispitanika koje je relativno lako bilo podijeliti na dva poduzorka podjednake kvalitete. Rezultati su potvrdili kako se primjenom ovog postupka, a temeljem izabranih prediktora može definirati visoko prediktivna regresijska jednadžba za rezultat u bacanju kugle kod vrhunskih muških natjecatelja. Kao glavne komponente koje izravno determiniraju rezultat u bacanju kugle (neovisno o tehnici bacanja) definiraju se: brzina kugle u trenutku izbačaja, kut izbačaja i visina izbačaja. S obzirom da se o ovim varijablama već govorilo u dosadašnjoj raspravi utjecaj svake od njih na konačni rezultat samo će se kratko ponoviti. U dosadašnjim spoznajama potvrđeno je kako

parametri izbačaja visina, kut i brzina u relaciji s individualnim karakteristikama bacača određuju dužinu bacanja (Linthorne, 2001, Ariel, 2004, Čoh, 2005, Young, 2005, Sochaa 2010). Najveća korelacija je između brzine izbačaja i dužine hitca, što je ujedno najvažniji faktor u bacanju kugle (Linthorne, 2001). Stoga, naglasak prilikom trenažnog procesa je na razvoj jakosti i eksplozivne snage, kako bi se u trenutku izbačaja mogla proizvesti što veća sila i brzina izbačaja. Visina izbačaja je relativno uvjetovana tjelesnom visinom i rasponom ruku bacača, te je problem same selekcije. Svaki bacač ima kut izbačaja koji preferira ovisno o mogućnosti da kuglu maksimalno ubrza. U računanju optimalnog kuta izbačaja svakako je potrebno uzeti i druge čimbenike. Bacači iako jednako visoki te postižu slične ili iste rezultate u bacanju kugle često se razlikuju po kutu izbačaja pod kojim izbacuju kuglu (Bartonietz, 1995). Optimalni model parametara izbačaja trebalo bi izračunati za svakog bacača posebno ovisno o njegovim antropometrijskim karakteristikama i razini snage (Linthorne, 2001).

9. ZAKLJUČAK

Vrjednovanje kinematičkih parametara linearne i rotacijske tehnike bacanja kugle, te utjecaj tih parametara na rezultat u bacanju kugle je osnovni i uži cilj ovog rada. Na temelju osnovnog cilja definirani su i sekundarni ciljevi, čija je zadaća bila utvrditi razlike u kinematičkim parametrima između rotacijske i linearne tehnike, te razlike u kinematičkim parametrima između dva poduzorka ispitanika.

Uzorak ispitanika bio je 24 vrhunska bacača kugle, hitci koji su analizirani snimljeni su na *Zimskom bacačkom kupu (Cup Winter Throwing)*. Analiziran je najbolji ispravan hitac. Za potrebe ove disertacije uzorak ispitanika je bio podijeljen prema kriteriju kronološke dobi definiran propisima *Međunarodne atletske federacije*. Tako je ukupni uzorka bio podijeljen na bacače seniore (+ 23 god., n=12) i mlađe seniore (do 23 god., n=12).

Sve primijenjene varijable imale su optimalnu distribuciju rezultata i stoga su se analizirale parametrijskim metodama. Nadalje, vrijednosti kinematički pokazatelja tretiranog uzorka (raspon rezultata) bili su slični kinematičkim pokazateljima evidentiranim kod vrhunskih bacača. Temeljem ovih sličnosti može se ustvrditi kako je uzorak tretiran ovom disertacijom vrhunski.

Regresijska analiza koja je primijenjena na ukupnom uzorku ispitanika utvrdila je znatan utjecaj kinematičkih parametara na rezultat u bacanju kugle. Izuzetno veliki postotak objašnjene varijance od 97% , potvrđuje hipotezu o značajnom utjecaju kinematičkih parametara na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle na ukupnom uzorku ispitanika. Temeljem regresijskog modela ove disertaciji može se zaključiti kako su uspješni bacači bili oni koji su ostvarili veću brzinu kugle u trenutku izbačaja (BrzKlzb) s istodobno većim kutom izbačaja (Kutlzb) i nižom početnom brzinom kugle na početku izbačaja (BrzKPoclzb).

Prediktorski skupovi kinematičkih i antropometrijskih varijabli objasnili su veliki postotak varijance kriterija (rezultata kugle) prilikom primjene regresijske analize na oba subuzorka bacača posebno. Konkretno kod oba poduzorka objašnjen je veliki i jednak postotak varijance kriterija (koeficijent determinacije iznosio je $R^2=98\%$). U regresijskom modelu za ispitanike koji bacaju linearnom tehnikom od ukupno pet selekcioniranih (stepwise regresijskom analizom) tri varijable su značajno pozitivno utjecale na rezultat i to: ATV- tjelesna visina, PrBrzCTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle i VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja. Regresijski model za one ispitanike koji bacaju rotacijskom tehnikom definirao je sljedeće značajne varijable; ATV - tjelesna visina, BrzKlzb - brzina kugle u trenutku izbačaja, Vislzb - visina kugle u trenutku izbačaja, Kutlzb - kut u trenutku izbačaja, PrBrzKFlzb - prosječna brzina kugle u fazi izbačaja, PrBrzCTlzb - prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja kugle, VisKPoclzb - visina kugle na početku izbačaja. Negativni predznak ima varijabla prosječna brzina kugle u okretu kod rotacijske

tehnike (PrBrzKOKr), te upućuje na problem gubitka brzine u bezpotpornoj fazi bacanja što je izuzetno veliki problem kod rotacijske tehnike. Regresijske jednadžbe linearne i rotacione tehnike ukazale su na znatno različite vrijednosti parcijalnih utjecaja na duljinu hitca. Prema tome postoji statistički značajan utjecaj analiziranih kinematičkih parametara i antropometrijskih varijabli na rezultatsku uspješnost u disciplini bacanja kugle rotacijskom i linearnom tehnikom kod vrhunskih bacača kugle.

Multivarijantna analiza razlika tehnika (diskriminativna analize) izdvojila je tri kinematičke varijable, te jednu antropometrijsku mjeru; brzina kugle u početku izbačaja, visina izbačaja, visina kugle u početku izbačaja i tjelesna masa. Temeljem projekcija varijabli na diskriminativnu funkciju može se utvrditi kako brzina kugle na početku izbačaja doprinosi značajno diskriminiranju grupa. Prilikom analize razlika T-testom ista varijabla je bila statistički značajna. Kao što se moglo očekivati varijabla je „na strani“ ispitanika koji primjenjuju linearnu tehniku bacanja kugle. Dakle, brzina kugle na početku izbačaja bitno je veća kod linearne tehnike nego kod rotacijske tehnike. Univarijantnom analizom utvrđeno je kako je brzina kugle koju bacač donese u fazu maksimalnog naprezanja znatno veća ($260 \pm 0,42$ i $1,5 \pm 0,38$) kod bacača koji su bacali linearnom tehnikom, od onih koji bacaju rotacijskom tehnikom. Stoga možemo potvrditi hipotezu o postojanju statističkih značajnih razlika u pojedinim varijablama između linearne i rotacijske tehnike bacanja. Iako se grupe ispitanika ne razlikuju u rezultatu kriterija, može se ustvrditi kako se razlike kinematičkih parametara ne mogu promatrati u kontekstu superiornosti pojedine tehnike, nego samo s obzirom na specifičnost pojedine tehnike.

Značajne razlike u postignutom rezultatu bacanja kugle između subuzorka (seniora i mlađih seniora) bile su očekivane te generirane različitim vrijednostima kinematičkih parametara u sljedećim varijablama; prosječnoj brzini centra težišta tijela u izbačaju, visini kugle u početku izbačaja, tjelesnoj visini, prosječnoj brzini kugle u fazi klizanja, brzini kugle u najnižoj točki i tjelesnoj masi. Univarijantnom analizom razlika između mlađih seniora i seniora za promatrane varijable utvrđena je razlika kod varijabli rezultat, kut izbačaja te prosječna brzina kugle u okretu. Kod varijable prosječna brzina kugle u fazi izbačaja varijabla je koja najviše pridonosi razlici, značajno je veća kod seniora ($7,87 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), nego kod mlađih seniora ($7,37 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). Jedina varijabla u kojoj mlađi seniori postižu veće rezultate je brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja. Međutim ovaj numerički veći rezultat kod mlađih seniora ne znači kvalitetniju izvedbu o čemu će više riječi biti u diskusiji.

Primjenom regresijskog modeliranja kod vrhunskog uzorka atletičara dobivena je visoka prediktivna regresijska jednadžba za rezultat u bacanju kugle. Može se zaključiti kako su glavne komponente, koje definiraju rezultat u bacanju kugle bez obzira na tehniku bacanja parametri izbačaja: brzina, visina i kut izbačaja.

Generalno informacije dobivene u ovom istraživanju ukazuju na znatan utjecaj kinematičkih parametara i antropometrijskih mjera na rezultat u bacanju kugle, te o očekivanom razlikovanju grupa ispitanika u kinematičkim varijablama.

Temeljem prethodno navedenih rezultata prihvaćaju se sve postavljene hipoteze (H1 – H7).

9.1. Znanstveni doprinos

Ovom doktorskom disertacijom po prvi put je na većem uzorku vrhunskih bacača primijenjeno multivarijantno razmatranje kinamtičkog backgrounda bacanja kugle. Takva istraživačka metodologija ukazala je na hijerarhije utjecaja kinamtičkih prediktora. Rezultati ovog istraživanja pridonijet će oblikovanju novih znanstvenih spoznaja u disciplini bacanje kugle rotacijskom i linearnom tehnikom. Današnje tehnike bacanja kugle rezultat su permanentnog usavršavanja primitivnih početnih tehnika temeljenih na praktičnim, a kasnije na znanstvenim osnovama. Moderne znanstvene spoznaje rezultat su primjene biomehaničkih analiza bacanja kugle koje razvojem tehnologije omogućuju sve kompleksnije pristupe problematici. Nedvojbeno je da će rezultat ovog istraživanja omogućiti oblikovanje novih znanstvenih spoznaja u disciplini bacanja kugle kod mlađih seniora koja nisu do sad istraživana. Znanstvenu vrijednost rada predstavlja i činjenica što su multivarijantnim analizama evidentirani i specifičnosti pojedinih bacačkih tehnika odnosno subuzorka ispitanika seniora i mlađih seniora.

Ovim istraživanjem utvrdili su se kinematički parametri kod najboljih europskih seniora i mlađih seniora u disciplini bacanje kugle, tj. vrhunskih Evropskih bacača kugle. Izuzetno je bitno naglasiti kako su podatci za analizu prikupljeni u istim natjecateljskim uvjetima za oba poduzorka ispitanika. Rezultati su izuzetno važni zbog selekcije mladih bacača kugle. Dobiveni rezultati moći će se usporediti sa pokazateljima vrhunskih bacača kugle, te utvrditi koji parametri nedostaju u ostvarivanju vrhunskih seniorskih rezultata kod mlađih seniora. Rezultati istraživanja mogu se primijeniti u odabiru metodičkih postupaka pri učenju pojedine tehnike bacanja. Primjena dobivenih rezultata omogućiti će trenerima, stručnim timovima, profesorima tjelesne i zdravstvene kulture planiranje, selekcioniranje, kontrolu i programiranje trenažnih ciklusa koji se odnose na utvrđivanje pogrešaka, prognoziranje i modeliranje efikasne tehnike bacanja.

U budućnosti istraživanje treba nastaviti u smjeru s relevantnim pokazateljima tehnike, koje nismo bili do sada u mogućnosti pratiti. To su parametri kutnih brzina kukova, ramenog zgloba, lakta i šake. Sa invertnom mehanikom bi mogli pratiti realizaciju snage (W/kg) u najvažnijim zglobovima, snagu u trenutku izbačaja. Ugrađeni akcelerometar (najnovija tehnologija) bi nam

omogućila praćenje ubrzanje kugle u finalnoj fazi. Upotreba elektromiografija EMG može nam pokazati uključivanje mišića u kinetičkom lancu tehnike .

10. LITERATURA

1. Aleksić-Veljković, M. Puletić, A. Raković, R. Stanković, S. Bubanj, D. Stanković (2011) Comparative kinematic analysis of the best Serbian shot put athletes. *Physical Education and Sport* Vol. 9, No 4, Special Issue, 2011, pp. 359 – 364.
2. Antekolović, L. Dobrila, I. Hraski, Ž. Hofman, E. (1999). Analiza tehnike bacanja kugle hrvatskog kadetskog rekordera // *Kineziologija za 21. Stoljeće* Milanović, Dragan (ur.). Zagreb : Fakultet za fizičku kulturu,. 208-211.
3. Ariel, G., Penny, A., Probe, J., Buijs, R., Simonsen, E., Finch, A., and Judge, L. (2004). Biomechanical analysis of the shot-put event at the 2004 Athens Olympic Games. Retrieved from
4. Ballreich, R., Bavmaunn, W., (1987) Einführung in die forschungsme thoden der biomechanik des sports, Bod Hamburg str. 39-133.
5. Bartlett , R. (2000) Principles of throwing In: *Biomechanic in Sport* (ed. Vladimir Zatsiorsky).
6. Bartlett, R., Müller, E., Lindinger, S., Brunner, F. and Morriss, C. (1996) Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *Journal of Applied Biomechanics* 12,58-71.
7. Bompá, J.O. (2000) Total training for young champions Champaign, Human Kinetics,
8. Bosen, K. (1985) A comparative study between the conventional and rotational techniques of shot put. *Track and Field Quarterly Review*, Kalamazoo 85 (1),7–11.
9. Čoh, M. and Jošt, B. (2005) A kinematic model of rotational shot-put . ISBS, Beijing, China, 357-360.
10. Čoh, M., Stuhec, S., Smajlović, N., and Supej, M. (2008) Comparative 3-D analysis of the rotational shot-put technique. *Biomechanical Diagnostic Methods in Athletic Training*, 27-34.

11. Ćuk, I. (1993) Kinematic analysis in gymnastics: conference proceedings; Cologne8-10.09
Koln: Bundesinstitut fur Sportwissencchaft, str. 39-48

12. Dempster, W. T. (1955). Space requirements of the seate operator. Wright-Petterson Air
Force Base, Ohio

13. Esco MR, Olson MS, Williford HN, Mugu EM, Bloomquist BE, McHugh AN.
Crossvalidationoftwoheart rate-basedequations for predicting VO2max inwhite
andblackmen. J StrengthCondRes. 2012 Jul;26(7):1920-7. doi: 1519/JSC.0b013e318238e863.
PubMed PMID: 21964424.

14. Grigalka, O. (1974) Shot putting and discusthrowing (Russian). In: Textbook for Trackand Field
Coaches, pp. 423–447.

15. Green MS, Esco MR, Martin TD, Pritchett RC, McHugh AN, Williford HN. Crossvalidationoftwo
20-m shuttle-runttests for predicting VO2max infemale collegiatesoccerplayers.
J StrengthCondRes. 2013 Jun;27(6):1520-8. doi:10.1519/JSC.0b013e318270fcc0. PubMed
PMID: 23715266.

16. Harasin, D., Milanović, D., Milinović, I. , (2008). Razlike u vršnoj brzini kugle u okretu između
boljih i lošijih bacača // Zbornik radova 17. ljetne škole kineziologa RH "Stanje i perspektive
razvoja u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije" / Neljak, Boris,
editor(s). Zagreb : Hrvatski kineziološki savez, 125-129.

17. Harasin, D., D. Milanović, I. Milanović (2008). Razlike u kutnim pomacima donjih ekstremiteta
kod boljih i lošijih bacača kugle, . U: Zbornik radova „18. ljetna škola kineziologa Republike
Hrvatske“, Poreč (144-148).

18. Harasin, D., Milanović, D. and Čoh, M. (2010). 3D kinematics of the swing arm in the second
double-supportphase of rotationalshot-put- elite vs sub-elite athleses. Kinesiology 42 (2),
169-174.

19. Hubbard, M., De Mestre. N. J., Scott. J. (2001). Dependence of release variables in the shot
put. Journal of Biomechanics, 34. 449–456.

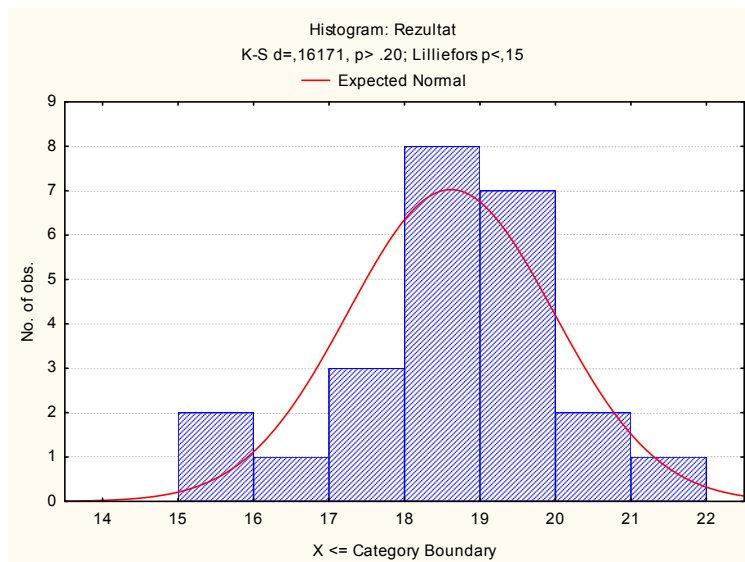
20. Katić, R., Miletić, Đ., Maleš, B., Grgantov, Z., & Krstulović, S. (2005.). Antropološki sklopovi sportaša- modeli selekcije i modeli treninga. Split: FPMZ i kineziologije.
21. Keigo Ohyama Byun, Hiroaki Fujii, Masatoshi Murakami, Toshinori Endo, Hisashi Takesako, Koki Gomi, Kenji Tauchi (2008) A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics, NSA by IAAF, 23:2; 53-62.
22. Kerssenbrock, K. (1974) Analysis of rotation technique. In: The Throws (ed. F. Wilt), pp. 39–41. Tafnews Press, Los Altos, CA.
23. Lanka, J.J. (1978) Biomechanical investigation of shot putting technique in athletes of different skill level (Russian). PhD dissertation, Institute of Physical Culture, Kiev.
24. Lanka, J. (2000). Shot Putting. V: Zatsiorsky, V. (ur.). *Biomechanics in Sport: performance enhancement and injury prevention* (str. 435–457). Oxford: Blackwell scientific.
25. Linthorne, N.P. (2001) Optimum release angle in the shot put. *Journal of Sports Sciences*, 19 (5), 359-372.
26. Linthorne, N.P. (2001). Optimum release angle in the shot put. *Journal of Sports Sciences*, 19, 359-372.
27. Luthanen, P., Blomqvist, M., & Vanttinen, T. (1997). A comparison of two elite shot putters using the rotational shot put technique. *New Studies in Athletics*, 12, 25-33.
28. Marhold, G. (1970) Badania nad biomechaniczną charakterystiką techniki pchnięcia kulą. In: *Symposium Teorii Techniki Sportowej*, Warszawa, pp. 99–109.
29. Menzel, H.-J. (1987) Transmission of partial momenta in javelin throw. In: Johnsson, B. (Ed.) *Biomechanics X-8*, Human Kinetics Publishers, Champaign, pp. 643-647.
30. Milan Coh, Stanko Stuhacin *New Studies in Athletics* (2005) 3-D kinematic analysis of the rotational shot put technique.

31. Milanović, D. (2009) Teorija treninga. Priručnik za sportske trenere. Kineziološki fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
32. Milinović, Ivan; Milanović, Dragan; Harasin, Dražen. Analiza razvojnih trendova olimpijskih rezultata bacačica kugle // Zbornik radova 18. ljetne škole kineziologa RH "Metodički organizacijski oblici rada u područjima edukacije, sporta, sportske rekreacije i kineziterapije" / Neljak, Boris (ur.). Zagreb : Hrvatski kineziološki savez, 2009. 194-199.
33. Milanovi, D., Hofman, E., Puhani, V., Šnajder V.(1986): Atletika-znanstveneosnove.
34. Schaa, W.,(2010) Biomechanical Analysis of the Shot Put at the 2009 IAAF World Championships in Athletics,NSA 25:3/4; 9-21.
35. Schpenke, J. (1974) Problems of techniqueand training in the shot put. In: TheThrows, Contemporary Theory, Techniqueand Training (ed. F. Wilt), pp. 28–33.Tafnews Press, Los Altos, CA.
36. Susanka, P. & Stepanek, J. (1987) Bio-mechanical analysis of the shot put.Scientific Material presented by IAAFResearch Team, II WC Rome. Part 1,Prague, Cologne, Athens.
37. Spasic M, Uljevic O, Coh M, Dzelalija M, Sekulic D (2013) Predictors of agility performance among early pubescent girls. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 13(2) 480-499.
38. Young M.A. (2003.) Critical Factors in The Shot Put. Track coach, 5299-5305.
39. Zatsiorsky, V.M., Lanka, J., & Shalmanov, A.A. (1981). Biomechanical analysis of shot putting technique. Exercise and Sport Sciences Reviews, 9, 353-389.
40. Zatsiorsky, V.M., Lanka, J.J. & Shalmanov,A.A. (1981) Biomechanical analysis of shot putting technique. Exercise and SportSciences Reviews 9, 353–389.
41. Zatsiorsky, V.M. (2000) Biomechanics in sport. International Olympic Committee.

11. PRILOG

Slika 11.

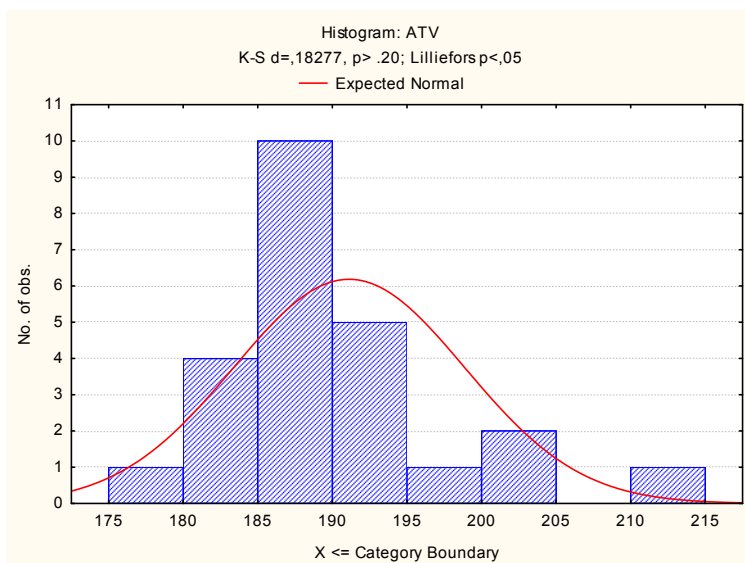
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu REZULTAT s testom normaliteta



Slika 9 prikazuje grafički prikaz distribucije rezultata s testom normaliteta distribucije rezultata za varijablu „rezultat“. Kao što se može vidjeti rezultati ne odstupaju značajno od normalne distribucije.

Slika 12.

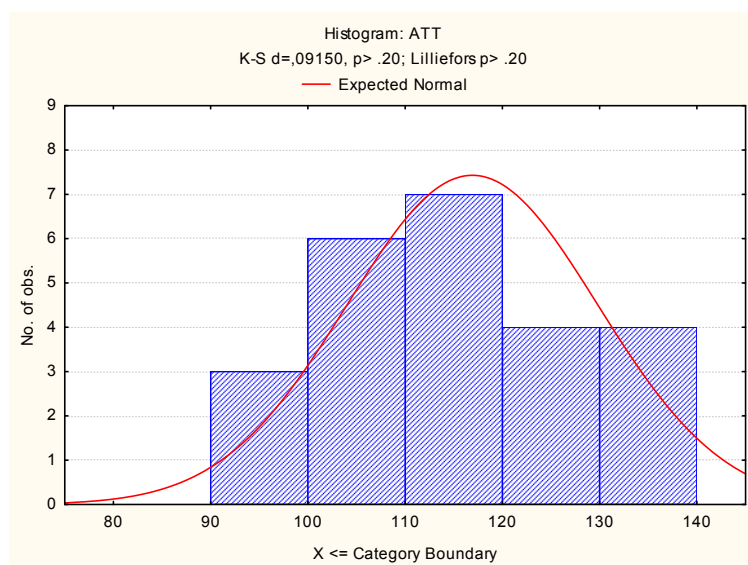
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu ATV (tjelesna visina) s testom normaliteta



Normalitet rezultata zadovoljava i kod varijable tjelesna visina – ATV. Varijabla tjelesna visina također je normalno distribuirana što je dokazano kroz vrijednost Kolmogorov –Smirnov testa.

Slika 13.

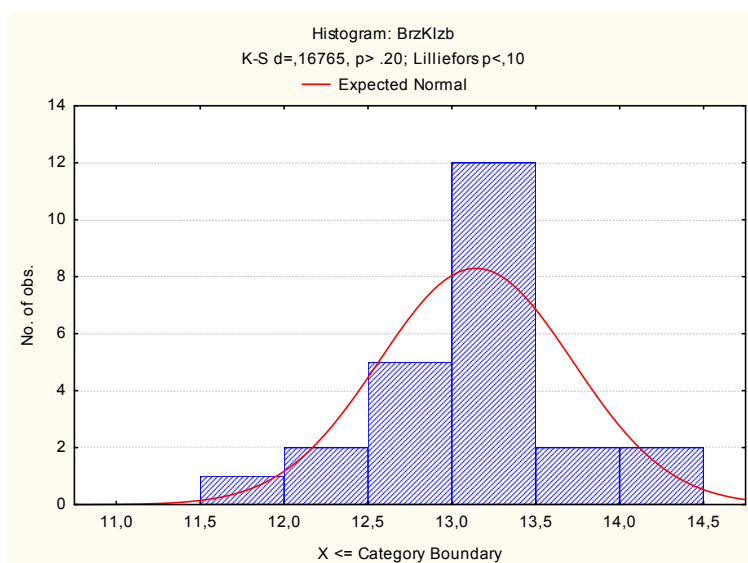
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu ATT (tjelesna težina) s testom normaliteta



Varijabla tjelesna težina također je normalno distribuirana što je dokazano kroz vrijednost Kolmogorov-Smirnovljeva testa.

Slika 14.

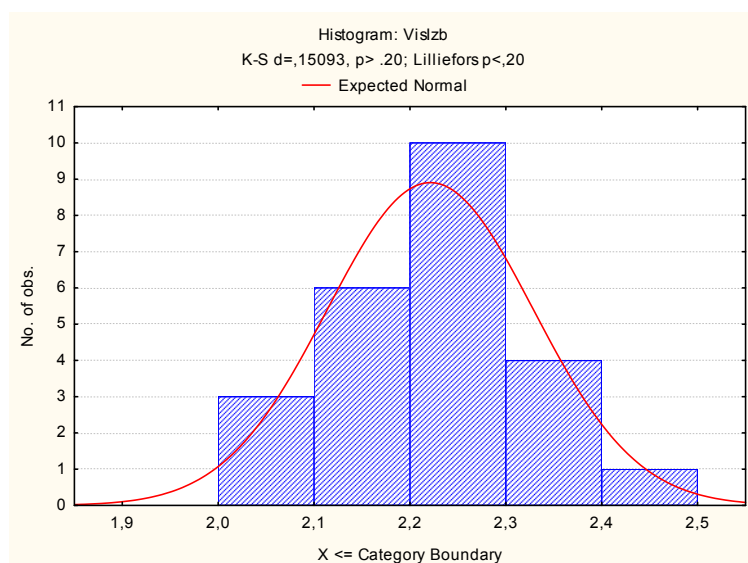
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu BrzKlzb (brzina kugle u izbačaju) s testom normaliteta



Slika 12 prikazuje distribuciju rezultata za prvu kinematičku varijablu koja je analizirana u ovom radu. Radi se o varijabli brzina kugle u trenutku izbačaja (BrzKlzb). Rezultati su normalno distribuirani kreću se od vrijednosti 11.71- 14.38 m/s s prosječnom vrijednosti 13.14 m/s.

Slika 15.

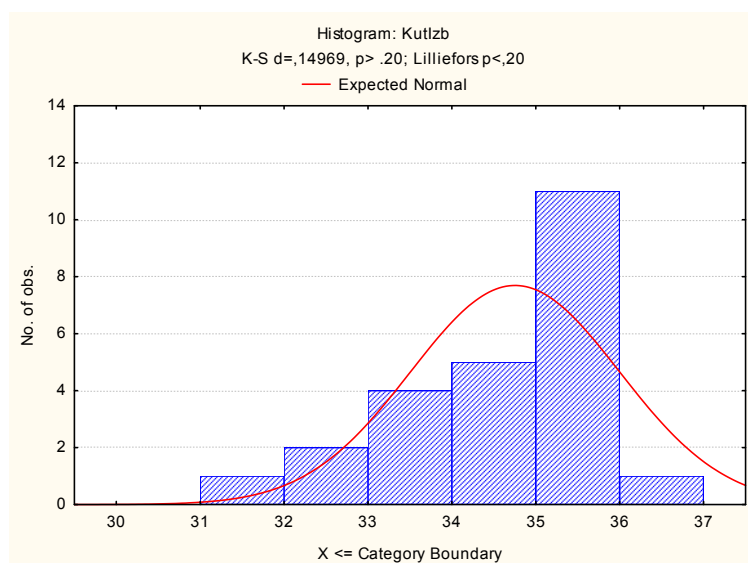
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu visina izbačaja (Vislzb) s testom normaliteta



Varijabla visina izbačaja (Vislzb) također je normalno distribuirana, te prosječna vrijednost rezultata iznosi 2.22 metra sa rasponom 2.01-2.49 metara.

Slika 16.

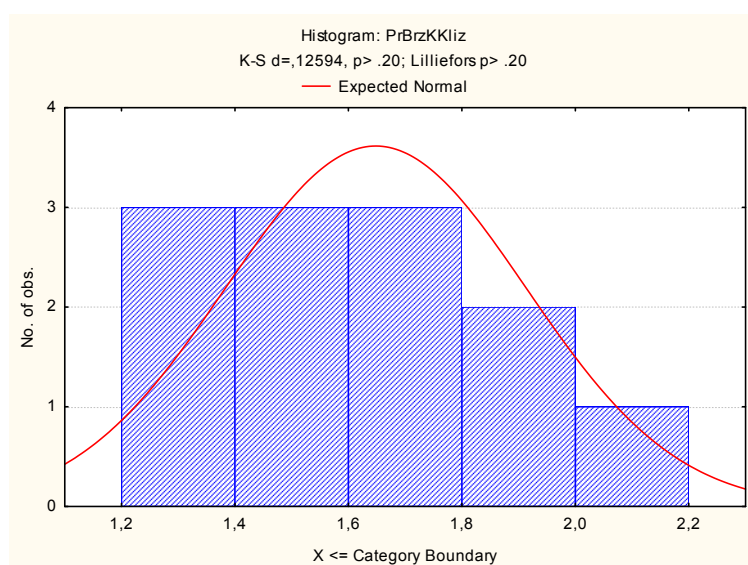
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu kut izbačaja (KutIzb) s testom normaliteta



Rezultati varijable kut izbačaja su normalno distribuirani premda je vidljiv blagi trend rezultata prema višim vrijednostima tako je najveći broj ispitanika postigao kut od 35-36 stupnjeva. Ipak Kolmogorov-Smirnovljeva test nije utvrdio značajno odstupanje zabilježene distribucije od teoretske normalne distribucije za analizirani broj ispitanika.

Slika 17.

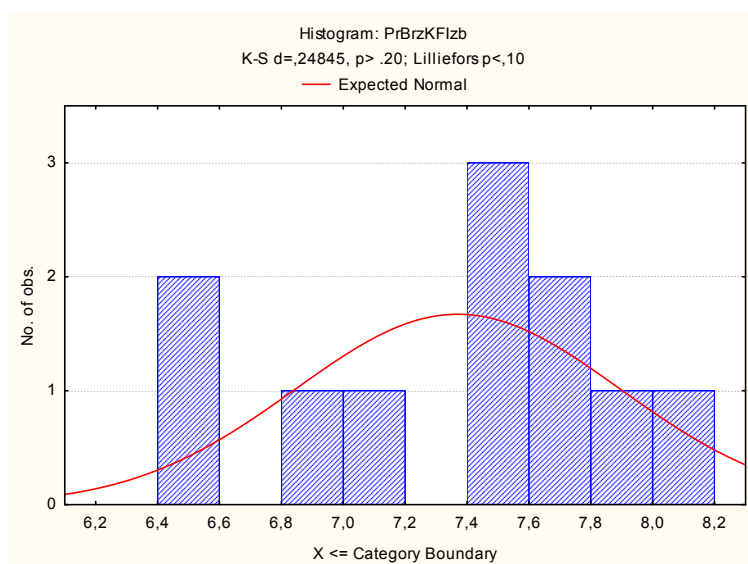
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina kugle u fazi klizanja (PrzBrzKKliz) s testom normaliteta



Normalitet distribucije zadovoljava i kod varijable prosječna brzina kugle u fazi klizanja kod linearne tehnike. Potrebno napomenuti kao je kod ove varijable analiziran bitno manji uzorak ispitanika (12 ispitanika) jer je ova varijabla karakteristična samo za ispitanike koji izvode linearnu tehniku bacanja kugle. Raspon rezultata kreće se od 1.31.-2.19 m/s s prosjekom rezultata od 1,65 m/s

Slika 18.

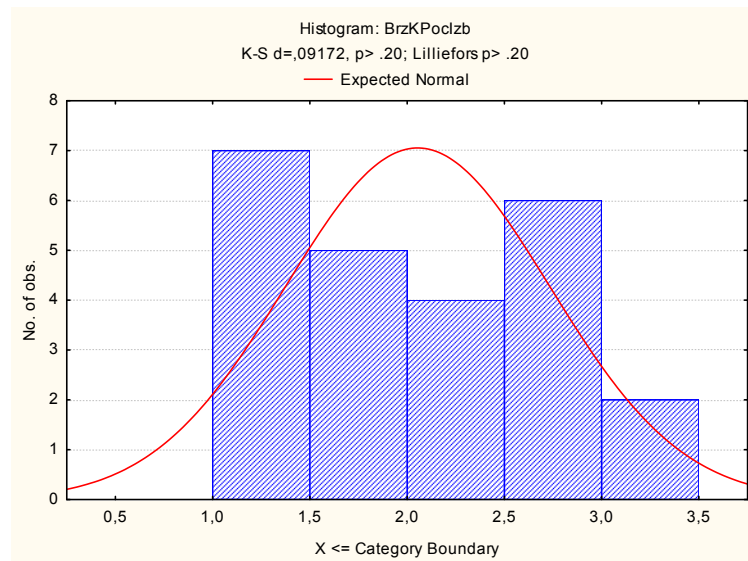
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina kugle u fazi klizanja (PrzBrzKfIzb) s testom normaliteta



U slici 16 prikazan je normalitet distribucije za varijablu prosječna brzina kugle u fazi klizanja (PrzBrzKfIzb). Premda postoje određeni rasponi rezultata u kojim se ne pojavljuju rezultati 6.6-6.8 i 7.2-7.4, normalitet distribucije zadovoljava i opažena distribucija rezultata ne odstupa značajno od teoretski očekivane normalne distribucije.

Slika 19.

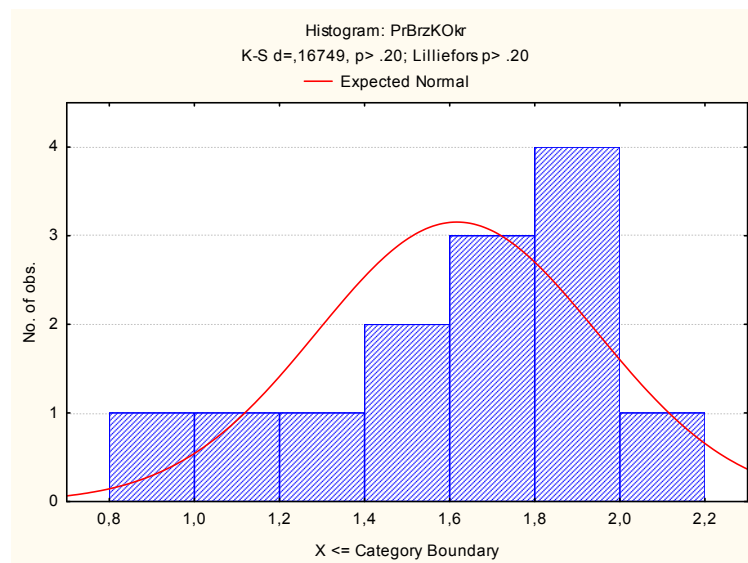
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina kugle na početku izbačaja (BrzKPoclzb) s testom normaliteta



Slika 17 prikazuje distribuciju rezultata za varijablu Brzina kugle na početku izbačaja (BrzKPoclzb). Normalitet distribucije i u ovom slučaju zadovoljava. Međutim mora se primijetiti određena bimodalnost distribucij. Tako se određeni broj rezultata grupira na lijevoj a određeni broj rezultata na desnoj strani distribucije rezultata. Raspodjela rezultata treba se prepisati činjenici da su analizirani ispitanici koji bacaju dvije tehnike, ali će se o tome više moći govoriti kada se budu analizirale razlike između skupina ispitanika koje bacaju linearnom i onih koji bacaju rotacijskom tehnikom.

Slika 20.

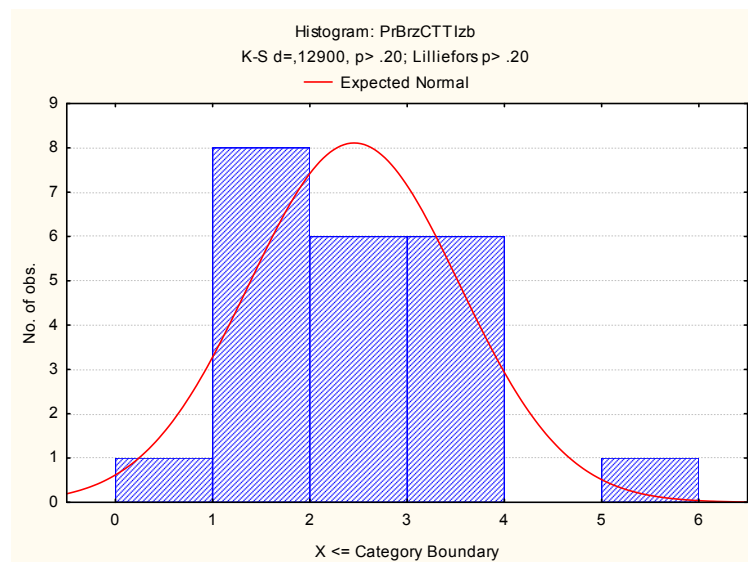
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina kugle u okretu (PrBrzKOkr) s testom normaliteta



Slika 19 prikazuje grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu Prosječna brzina kugle u okretu i ovoj varijabli kao i prethodnoj analiziranoj varijabli Prosječna brzina kugle u fazi klizanja analizirano je dvostruko manje ispitanika jer se radi o varijabli koja je zabilježena za ispitanike koji bacaju rotacijskom tehnikom. Primjetna je negativna asimetričnost distribucije rezultata tj rezultati se grupiraju na desnoj strani distribucije što je vjerojatno posljedica toga da rotacijskom tehnikom je sama intencija da se postigne velika brzina.

Slika 21.

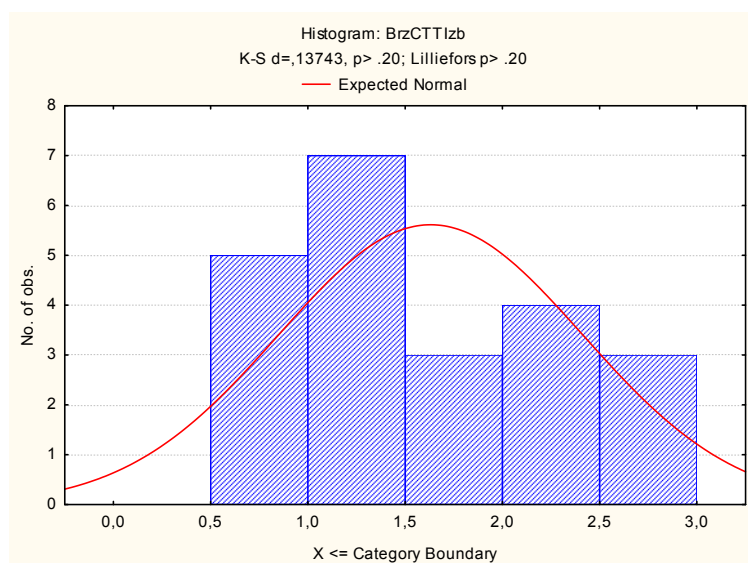
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina centra težišta tijela u izbačaju (PrBrzKOKr) s testom normaliteta



U slici 20 prikazani su rezultati varijable Prosječna brzina centra težišta tijela u izbačaju (PrBrzCClzb). I u ovom slučaju zabilježena distribucija ne odstupa značajno od teoretske normalne. Kao što se može vidjeti kod ove varijable prisutna je pozitivna asimetrija odnosno rezultati tendiraju nižim vrijednostima. Međutim za ovu varijablu to su očekivani rezultati s obzirom da bi brzina težišta tijela u trenutku izbačaja trebala tendirati prema nuli. Stoga se može očekivati da su upravo ti parametri oni koji pokazuju bolje postignuće odnosno da će ispitanici kojima brzina težišta tijela tendira prema nuli postizati bolje rezultate. O ovome će se više govoriti naknadno o regresijskim analizama.

Slika 22.

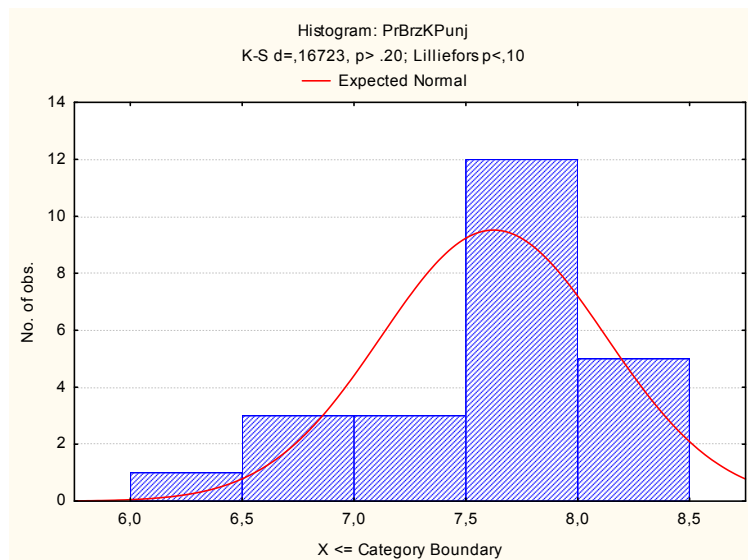
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja (BrzCTTlzb) s testom normaliteta



Brzina centra težišta tijela u trenutku izbačaja je normalno distribuirana sa bimodalnom tendencijom. Za ovu varijablu potrebno je naglasiti kako je grupiranje ispitanika uvjetovano činjenicom da su stariji ispitanici na lijevoj strani a mlađi ispitanici na desnoj strani.

Slika 23.

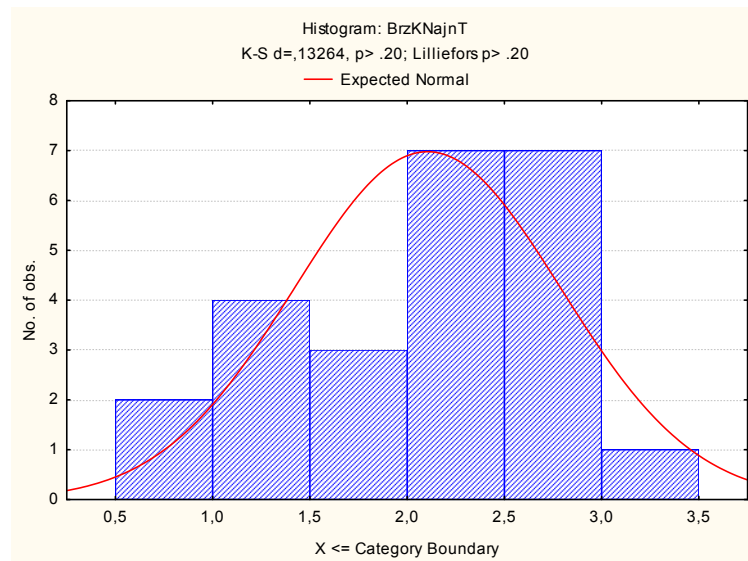
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina kugle u fazi punjenja (PrBrzKPunj) s testom normaliteta



Slika 22 prikazuje distribuciju rezultata u varijabli Prosječna brzina kugle od najniže točke izbačaja do trenutka izbačaja (po brzini). Rezultati su distribuirani negativno asimetrično. Rezultati se grupiraju na desnoj strani distribucije u prostoru većih rezultata što je normalno jer se istraživanje provedeno na vrhunskom uzorku ispitanika, a radi se o varijabli koja bi trebala tendirati većim vrijednostima. Raspon rezultata kreće se od 6,44-8,19 m/s prosječnom vrijednosti 7,62 m/s.

Slika 24.

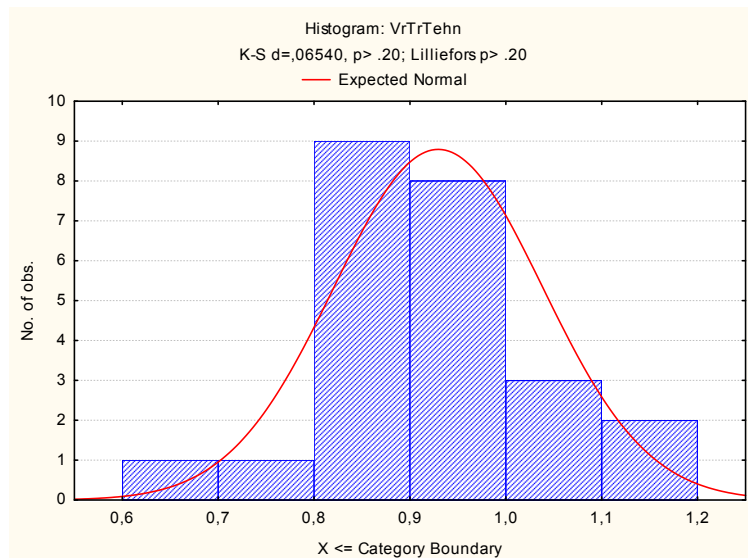
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu prosječna brzina u najnižoj točki (BrzKNajnT) s testom normaliteta



U varijabli Brzina kugle najnižoj točki „punjenja kugle“ u fazi izbačaja ponovno se primjećuje negativna asimetrija uz blagu bimodalnost. Raspon rezultata kreće se od 0.60- 2.30 prosječni rezultat 2.11 m/s. Bimodalnost rezultata je uvjetovana dužinom hitca koji postižu ispitanici. Distribucija rezultata ne odstupa značajno od normalne, što je analizirano Kolmogorov-Smirnovljeva testom.

Slika 25.

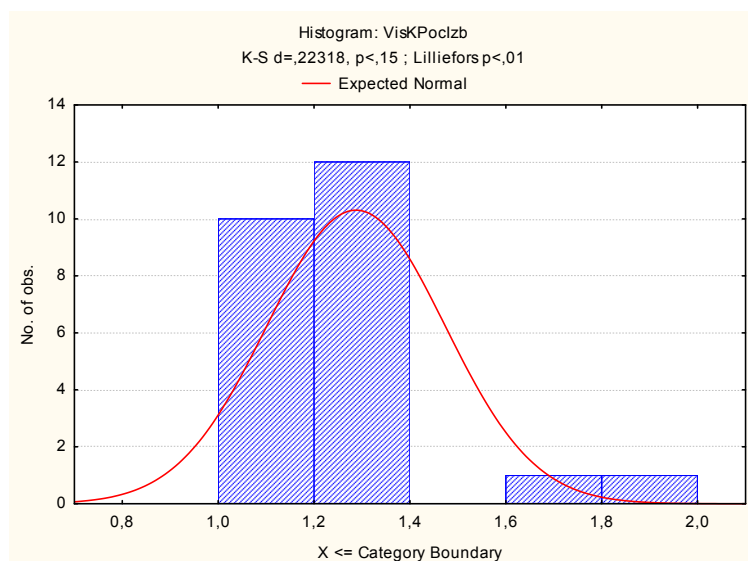
Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu vrijeme trajanje tehnika (VrTrTehn) s testom normaliteta



U varijabli vrijeme trajanja tehnike javlja se normalna distribucija rezultat. Međutim ovu varijablu ne bi trebalo dodatno analizirati s obzirom da rotacijska i linearna tehnika razlikuju po pitanju trajanja tehnike.

Slika 25

Grafički prikaz distribucije rezultata za varijablu vrijeme visina kugle na početku izbačaja (VisKPoclzb) s testom normaliteta



U varijabli Visina kugle na početku izbačaja izračena je bimodalna distribucija s pozitivnom asimetrijom, te možemo utvrditi da imamo normalnu distribuciju rezultata.